



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENGEMBANGAN SOFTWARE ECONOMIC DISPATCH
METODE GAMMA SEARCH PADA SISTEM DENGAN TAKE OR
PAY FUEL CONTRACT**

Adam Muhammad Zaman
NRP 2211100081

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**Gamma Search Methode Economic Dispatch Software
Developing for System with Take or Pay Fuel Contract**

**Adam Muhammad Zaman
NRP 2211100081**

Advisor

**Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

PENGEMBANGAN SOFTWARE ECONOMIC DISPATCH METODE GAMMA SEARCH PADA SISTEM DENGAN TAKE OR PAY FUEL CONTRACT

TUGAS AKHIR

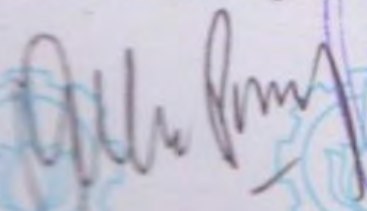
**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

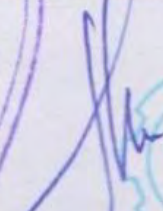
**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II



Prof. Ir. Orlancho Penangsang, M.Sc, Ph.D

NIP. 194907151974121001

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP. 197411292000121001

**SURABAYA
JUNI, 2015**

ABSTRAK

“Pengembangan Software Economic Dispatch Metode Gamma Search pada Sistem dengan Take or Pay Fuel Contract”

Adam Muhammad Zaman

2211100081

Dosen pembimbing 1 :Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

Dosen Pembimbing 2 :Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Abstrak:

Economic Dispatch adalah langkah untuk meminimalkan besarnya daya pembangkitannamun tetap memenuhi kebutuhan beban dalam suatu operasi sistem tenaga listrik. Penerapan sistem *take or pay fuel contract* memberi batasan tentang seberapa jauh penggunaan pembangkit karena berkaitan dengan jumlah minimum bahan bakar yang harus digunakan agar memenuhi kesepakatan yang telah ditentukan. Untuk memecahkan permasalahan tersebut digunakan metode *gamma search*. Tugas akhir ini mengembangkan program yang dapat digunakan untuk pemrosesan dengan metode *gamma search*. Dalam proses pengembangan program, digunakan software Delphi 7. Program yang telah dikembangkan di uji validitasnya melalui uji validitas sebelum digunakan untuk memecahkan studi kasus berdasarkan paper referensi. Dari hasil simulasi program, diperoleh hasil kombinasi biaya yang lebih murah dengan menggunakan metode gamma search pada sistem yang terkena batasan *take or pay fuel contract*

Kata kunci :Economic Dispatch, Gamma Search, take-or-pay contract,

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

ABSTRACT

“Gamma Search Methode Economic Dispatch Software Developing for System with Take or Pay Fuel Contract”

Adam Muhammad Zaman

2211100081

Advisor 1 :Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D

Advisor 2 :Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Abstrak:

Economic Dispatch is a process for minimalizing power generation cost that economically lowest but still sufficient to supply the system load. But after the introducing of take-or-pay fuel contract that enforce the user generator to consume an amount of fuel quantity and if failed to do so, the manager should pay for the unused fuel. To fulfill those new term, gamma search method was introduced. This final project is about the developing of software as a helper tool for processing gamma search. The software will be developed using Delphi 7. After the program was built, firstly, it must be validated by validation test. The program need to be valid before processing study case that based on paper reference. From the result simulated by gamma search method program, total cost is cheaper by using gamma search method.

Kata kunci :Economic Dispatch, Gamma Search, take-or-pay contract,

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

“Pengembangan Software Economic Dispatch Metode Gamma Search pada Sistem dengan Take or Pay Fuel Contract”

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis tidak lepas dari petunjuk, bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah member bantuan baik itu berupa moral maupun material, langsung maupun tidak langsung :

1. Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Petunjuk-Nya serta Nabi Muhammad SAW atas tuntunan jalan-Nya.
2. Bapak dan Ibu saya yang telah membesarkan saya dan menyayangi saya serta membiayai saya hingga kuliah
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya dalam Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan teknik Elektro ITS
5. Teman-teman Teknik Elektro ITS 2011 dan khususnya kepada teman-teman satu kelompok TA atas bantuan kalian selama masa pengerjaan Tugas Akhir ini
6. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak mungkin saya sebutkan satu per satu

Untuk Semuanya saya ucapkan terima kasih. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna, Oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Permasalahan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	5
 BAB 2 ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHATIKAN	
BATASAN TAKE-OR-PAY (TOP).....	7
2.1 Pembangkitan Ekonomis (Economic Dispatch)	7
2.1.1 Karakteristik Unit Pembangkit.....	7
2.1.2 Karakteristik Input-Output Pembangkit Thermal.....	8
2.2 Pembangkitan dengan Suplai Bahan Bakar Terbatas	13
2.2.1 Take-or-Pay Fuel Supply Contract.....	13
2.3 Metode Penyelesaian Economic Dispatch	16
2.3.1 Persamaan matematis permasalahan Economic	
Dispatch.....	16
2.3.2 Gamma Search	19

BAB 3 PENGAPLIKASIAN METODE GAMMA SEARCH PADA ECONOMIC DISPATCH YANG MEMPERHATIKAN BATASAN TAKE-OR-PAY (TOP)	25
3.1 Algoritma penyelesaian Tugas Akhir	25
3.2 Metode gamma search pada Delphi	27
3.2.1 Sintaksisprogram Gamma Search pada delphi	28
3.2.2 Argumentasi input output pada delphi	29
3.3 Penggunaan software economicdispatch metode gamma search	30
3.4 Perhitungan manual uji validasi	35
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS.....	43
4.1 Validasi program Gamma Search pada Delphi menggunakan contoh kasus 6B pada Allen J Wood	43
4.1.1 Simulasi	44
4.1.2 Analisis	45
4.2 Sistem dengan 10 unit pembangkit	49
4.2.1 Sistem 10 unit pembangkit dengan 1 unit terkena ToP.....	50
4.2.2 Sistem 10 unit pembangkit dengan 2 unit terkena ToP	59
BAB 5 PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	73
RIWAYAT HIDUP PENULIS	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Daftar sintaksis yang digunakan pada program gamma search	28
Tabel 3.2	Daftar argumentasi input output gamma search pada Delphi	29
Tabel 3.3	Data karakteristik pembangkit untuk perhitungan manual	36
Tabel 3.4	Pola pembebanan untuk perhitungan manual	36
Tabel 3.5	Hasil perhitungan manual iterasi pertama gamma search	39
Tabel 3.6	Hasil akhir perhitungan manual gamma search	41
Tabel 4.1	Data karakteristik pembangkit untuk uji validasi	43
Tabel 4.2	Pola pembebanan	43
Tabel 4.3	Hasil simulasi powergen tanpa memperhatikan batasan ToP	44
Tabel 4.4	Hasil simulasi powergen dengan mempertimbangkan batasan ToP	44
Tabel 4.5	Data karakteristik pembangkit, sistem 10 unit	49
Tabel 4.6	Pola pembebanan untuk sistem 10 unit pembangkit	49
Tabel 4.7	Hasil simulasi kasus pertama tanpa memperhatikan batasan ToP	50
Tabel 4.8	Hasil simulasi kasus pertama dengan memperhatikan batasan ToP	50
Tabel 4.9	Hasil simulasi kasus kedua tanpa memperhatikan batasan ToP	59
Tabel 4.10	Hasil simulasi kasus kedua memperhatikan batasan ToP	59

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Kurva input-output pembangkit <i>thermal</i> [6]	9
Gambar 2-2	Pemodelan <i>boiler</i> -turbin-generator pada pembangkit <i>thermal</i> [6]	9
Gambar 2-3	Kurva input-output pembangkit tenaga uap[6]	11
Gambar 2-4	Representasi kurva kenaikan input[6]	12
Gambar 2-5	Karakteristik <i>net heat rate</i> pembangkit tenaga uap[6] ..	12
Gambar 2-6	Skema Take-or-Pay (ToP) Fuel Supply Contract[6]	14
Gambar 2-7	Kurva Beban[6]	14
Gambar 2-8	Kurva Beban Diskrit[6]	15
Gambar 2-9	Diagram alur metode <i>gamma search</i> [6]	19
Gambar 3-1	Flowchart Penyelesaian Tugas Akhir	25
Gambar 3-2	Alur Metode <i>gamma search</i> pada Delphi	27
Gambar 3-3	Tampilan Utama Aplikasi	31
Gambar 3-4	Tampilan Data Karakteristik Pembangkit	32
Gambar 3-5	Tampilan Pengisian Beban	33
Gambar 3-6	Tampilan Hasil Perhitungan Aplikasi	34
Gambar 3-7	Tampilan Hasil Perhitungan Aplikasi	35
Gambar 4-1	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1	46
Gambar 4-2	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2	46
Gambar 4-3	Grafik perbandingan penggunaan gas	47
Gambar 4-4	Grafik perbandingan Total Biaya	48
Gambar 4-5	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1	52
Gambar 4-6	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2	52
Gambar 4-7	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 3	53
Gambar 4-8	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 4	53

Gambar 4-9	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 5	54
Gambar 4-10	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 6	54
Gambar 4-11	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 7	55
Gambar 4-12	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 8	55
Gambar 4-13	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 9	56
Gambar 4-14	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 10	56
Gambar 4-15	Grafik perbandingan penggunaan gas	57
Gambar 4-16	Grafik perbandingan Total Biaya	58
Gambar 4-17	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1	61
Gambar 4-18	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2	61
Gambar 4-19	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 3	62
Gambar 4-20	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 4	62
Gambar 4-21	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 5	63
Gambar 4-22	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 6	63
Gambar 4-23	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 7	64
Gambar 4-24	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 8	64
Gambar 4-25	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 9	65
Gambar 4-26	Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 10	65

Gambar 4-27	Grafik perbandingan penggunaan gas	66
Gambar 4-28	Grafik perbandingan Total Biaya	67

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi di Indonesia sangatlah melimpah. Indonesia adalah produsen gas terbesar ke-9 di dunia. Memang sungguh ironis, Indonesia yang memiliki kekayaan sumber alam dan energi melimpah justru merupakan negara yang tidak mengalami pembangunan secara baik. Optimalisasi sumber energi sudah sepatutnya menjadi perhatian lebih.

Optimasi sumber energi dapat dilakukan di berbagai sektor salah satunya adalah di Pembangkit Listrik. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik, tentunya harus diimbangi dengan pengelolaan sumber pembangkitan yang baik, sehingga mampu menyediakan tenaga listrik ekonomis dan optimal. Suatu sistem pembangkitan membutuhkan minimisasi bahan bakar pada rentan waktu tertentu untuk mencapai operasi yang optimum dan ekonomis.

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik harus diimbangi dengan pengelolaan sumber pembangkitan dengan baik. Sehingga mampu menyediakan tenaga listrik ekonomis dan tetap menjaga kualitas prima meliputi kontinuitas, seimbang, stabil dan kadar harmonik yang rendah [1].

Pengoperasian suatu pembangkit termal sangat tergantung pada bahan bakar, dengan demikian hal tersebut yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena sebagian besar biaya operasi yang dikeluarkan adalah untuk keperluan bahan bakar. Biaya bahan bakar sebuah unit pembangkit termal merupakan fungsi beban suatu pembangkit. Kemampuan memikul beban menentukan keandalan sistem energi listrik, sehingga selalu diupayakan besar daya yang dibangkitkan harus sama dengan besar kebutuhan di sisi beban setiap saat. Pada unit pembangkit termal yang berbahan bakar fosil, pertambahan beban akan mendorong pertambahan kuantitas (jumlah) bahan bakar per satuan waktu yang akan meningkatkan pertambahan biaya per satuan waktu. Fluktuasi kebutuhan energi listrik di sisi beban akan menimbulkan fluktuasi biaya bahan bakar, berkaitan dengan hal tersebut perlu ditentukan pola korelasi keduanya, yang biasa disebut karakteristik *input output* suatu pembangkit tenaga listrik.

Analisis meminimalkan biaya pembangkitan dapat diwujudkan dengan *Economic Dispatch (ED)* merupakan hal penting dalam control dan operasi sistem tenaga[2]. Fungsi utama dari *ED* adalah untuk menjadwalkan pembangkitan dari setiap pembangkit yang beroperasi agar dapat memenuhi kebutuhan beban pada biaya pembangkitan paling minimal [3].

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch (ED)*, metode yang paling dasar adalah metode *Lagrange* dengan Iterasi Lambda. Lambdamerupakan nilai *incremental cost* (biaya tambahan) dari pembangkitan tenaga listrik tersebut.

Namun penerapan sistem *take or pay fuel contract* memberi batasan tentang seberapa jauh penggunaan pembangkit, hal ini berkaitan dengan jumlah minimum bahan bakar yang harus digunakan agar memenuhi kesepakatan dari kontrak. Untuk memecahkan permasalahan digunakan metode *gamma search*. Inti dari *gamma search* ini adalah memunculkan faktor pengali baru dari faktor lambda. Lambda yang awalnya mewakili biaya pembangkitan per satuan daya, dimunculkan faktor gamma yang mewakili biaya semu bahan bakar per satuan *volume*. Faktor gamma sendiri merupakan pengali dari lambda, sehingga iterasi pada faktor gamma akan mempengaruhi nilai lambda.

Alat bantu simulasi yang umum digunakan adalah MATLAB untuk mendapatkan ED, akan tetapi tidak semua pengguna dapat dengan mudah menggunakan *script* yang tersedia pada MATLAB. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dikembangkan menggunakan Delphi. Delphi merupakan bahasa pemrograman berbasis Windows yang menyediakan fasilitas pembuatan aplikasi visual seperti Visual Basic. Delphi memberikan kemudahan dalam menggunakan kode program, kompilasi yang cepat, penggunaan *file unit* ganda untuk pemrograman modular, pengembangan perangkat lunak, pola desain yang menarik serta diperkuat dengan bahasa pemrograman yang terstruktur dalam bahasa pemrograman *Object Pascal*. Tujuan tugas akhir ini akan mendapatkan aplikasi *software* perhitungan *Economic Dispatch* untuk metode *gamma search*

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana menghasilkan program aplikasi perhitungan *ED* metode *gamma search* yang memperhatikan batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*
2. Bagaimana dampak dari penambahan parameter *Take or Pay Fuel Supply Contract* terhadap daya terbangkitkan dan biaya pembangkitan

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin didapatkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan program aplikasi perhitungan *ED* metode *gamma search* yang memperhatikan batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*
2. Mengetahui dampak dari penambahan parameter *Take or Pay Fuel Supply Contract* terhadap daya terbangkitkan dan biaya pembangkitan

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut

1. *Losses* diabaikan
2. *Ramp rate* pembangkit diabaikan
3. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan adalah metode *gamma search*

1.5 Metode Penelitian

Pada pelaksanaan Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian tentang pembangkitan ekonomis (*ED*) pada pembangkit yang terpengaruhi oleh batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah metode *gamma search*. Perhitungan *Economic Dispatch* metode *gamma search* ini akan diwujudkan dengan cara pengembangan pada *software* Powergen yang berbasis Delphi. Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur
Literatur yang dijadikan landasan pengerjaan tugas akhir ini berasal dari buku Allen J Wood. Dalam studi literatur dipelajari teori pendukung yang berisi tentang *economic dispatch*, *generation limited supply*, *Take or Pay Fuel Supply Fuel Contract* serta metode *gamma search*.

2. Pembuatan program
Pembuatan program pada delphi berupa penerapan gamma search pada *Economic Dispatch* dengan batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*.
3. Uji Validasi
Uji validasi diperlukan untuk memastikan bahwa program gamma search yang dikembangkan telah berfungsi dengan benar dan dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan economic dispatch pada sistem yang terkena batasan *take-or-pay fuel supply contract*.
4. Simulasi dan analisis
Simulasi dilakukan dengan menjalankan program dalam dua kondisi yang berbeda. Kondisi pertama *Economic Dispatch* tanpa memperhatikan batasan *Take or Pay*, sedangkan kondisi kedua *Economic dispatch* dengan memperhatikan batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*
5. Penulisan Buku
Hasil penelitian yang telah dilakukan akan dilaporkan dalam bentuk laporan Tugas Akhir dan dikembangkan dalam bentuk prosiding. Laporan ditulis berdasarkan kesimpulan dari permasalahan yang dianalisis beserta tahapan yang ada di dalamnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Buku Laporan Tugas Akhir ini disusun menurut sistematika sebagai berikut :

Bab 1: PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir

Bab 2: ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHATIKAN BATASAN TAKE-OR-PAY

Bab ini membahas mengenai pembangkitan ekonomis, pembangkitan dengan suplai bahan bakar terbatas, serta metode penyelesaian *economic dispatch* yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini

Bab 3: PENGAPLIKASIAN METODE *GAMMA SEARCH* PADA ECONOMIC DISPATCH YANG MEMPERHATIKAN BATASAN *TAKE-OR-PAY (TOP)*.

Bab ini membahas mengenai penerapan metode gamma search pada *economic dispatch* yang memperhatikan batasan *take-or-pay* serta pengaplikasiannya pada Delphi 7

Bab 4: HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil simulasi *economic dispatch* yang terkena batasan *take-or-pay* dan diselesaikan menggunakan *gamma search* beserta hasil analisis dalam dua kondisi yang berbeda

Bab 5: PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan dan saran-saran yang berhubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

1.7 Relevansi

Hasil akhir dari pelaksanaan Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Program yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alat bantu penyelesaian permasalahan *Economic Dispatch* yang dipengaruhi oleh batasan *Take or Pay Fuel Supply Contract*
2. Dapat menambah penguasaan ilmu di bidang *Economic Dispatch* bagi penulis
3. Tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang ingin mengambil Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 2

ECONOMIC DISPATCH DENGAN MEMPERHATIKAN BATASAN TAKE-OR-PAY (TOP)

2.1 Pembangkitan Ekonomis (*Economic Dispatch*)

Pembangkitan Ekonomis (*Economic Dispatch*) merupakan sebuah mekanisme atau analisa koordinasi pembangkit-pembangkit yang bertujuan untuk memperoleh total biaya pembangkitan yang paling ekonomis. Secara umum, dalam pelaksanaan pembangkitan ekonomis, unit-unit pembangkit yang memiliki karakteristik biaya pembangkitan yang lebih murah akan mendapatkan prioritas lebih tinggi dalam penentuan porsi pembagian pembebanan. Sehingga dapat diperoleh total biaya yang paling murah atau ekonomis namun tetap dapat memenuhi target daya pembangkitan. Pembagian pembebanan daya pembangkit berdasarkan karakteristik-karakteristik yang dimiliki oleh pembangkit. Masing-masing pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda-beda, dan karakteristik tersebut dapat diambil nilai atau fungsi matematis. Perbedaan karakteristik tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan efisiensi dari unit pembangkit tersebut.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Economic Dispatch (ED)*, metode yang paling dasar adalah metode Lagrange dengan Iterasi Lambda dengan lambda sebagai nilai *incremental cost* (biaya tambahan) dari pembangkitan tenaga listrik tersebut. Metode-metode lain yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* ini antara lain metode *gamma search*, *quadratic programming*, *Particle Swarm Organization*, *artificial bee colony* dll

2.1.1 Karakteristik Unit Pembangkit

Masing-masing jenis pembangkit memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Perbedaan karakteristik unit pembangkit ini menyebabkan prioritas pembangkit dalam mensuplai beban suatu sistem tenaga listrik menjadi berbeda. Secara umum, jenis prioritas pembangkit dalam sistem adalah pembangkit beban dasar (*base load*), pembangkit beban menengah (*load follower*), dan pembangkit beban puncak (*peaker*)

Pembangkit dengan tipe karakteristik yang tidak begitu fleksibel seperti pembangkit yang tidak dapat dihidupkan atau dimatikan

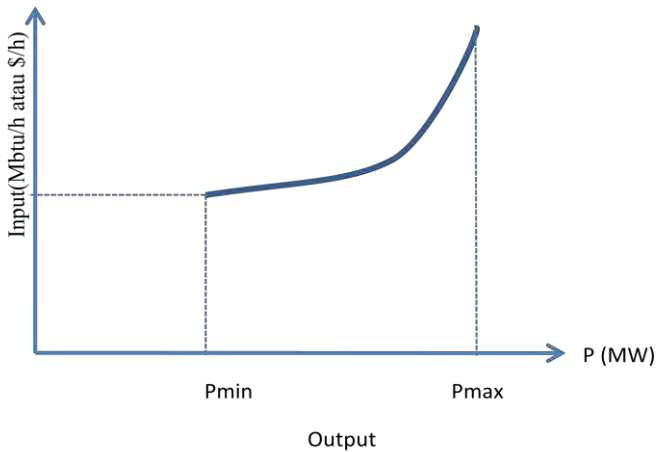
dalam waktu yang singkat, atau bisa juga pembangkit memiliki karakter lambat dalam menaikkan atau menurunkan daya terbangkitkan. Pembangkit yang memiliki karakteristik seperti ini cocok untuk di operasikan sebagai *base load generator*. Hal ini dikarenakan sebagai *base load generator*, target daya terbangkitkan dari pembangkit cenderung konstan. Pembangkit *base load* umumnya berskala besar dan memiliki biaya produksi yang lebih murah apabila dibandingkan dengan pembangkit tipe lain seperti pembangkit *peak load*. Contoh dari pembangkit tipe *base load* adalah PLTU batubara.

Pembangkit tipe *load follower* merupakan pembangkit yang memiliki karakteristik lebih fleksibel namun juga lebih mahal biaya pengoperasiannya apabila dibandingkan dengan pembangkit *base load*. Contoh dari pembangkit tipe *load follower* adalah PLTGU gas dan PLTU minyak, sedangkan pembangkit beban puncak merupakan pembangkit yang memiliki karakteristik yang fleksibel sehingga responsif dalam hal kecepatan perubahan pembebanan dan pengaturan kondisi operasional dan non operasional dari pembangkit tersebut.

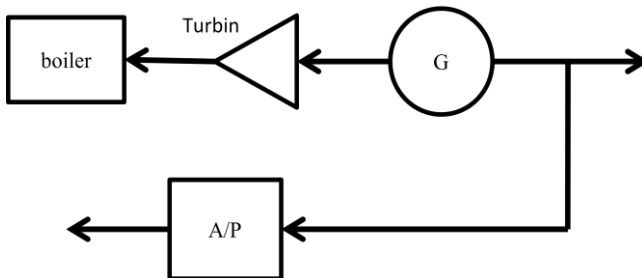
2.1.2 Karakteristik *Input-Output* Pembangkit Thermal

Pada pembangkit *thermal*, karakteristik input-output pembangkit merupakan dasar penyusunan fungsi biaya. Secara umum karakteristik *input-output* pembangkit *thermal* berbentuk *Btu per hour* input ke unit generator (Mbtu/h). Biaya pembangkitan adalah perkalian dari biaya (\$) kalori yang terkandung dalam bahan bakar dengan kebutuhan kalori tiap jam dari generator (Btu/h). Hasil daya yang dibangkitkan (Mega Watt) direpresentasikan dengan P . Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bahwa kurva karakteristik input-output dari pembangkit *thermal* memiliki batas minimal dan maksimal dari daya output yang diproduksi.

Selain biaya bahan bakar yang dikonsumsi, biaya operasi juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya pemeliharaan, biaya transportasi bahan bakar, dan lain-lain. Biaya-biaya itu sulit direpresentasikan sebagai fungsi biaya dari daya output yang dihasilkan generator. Karena permasalahan yang dimaksudkan, biaya-biaya itu diasumsikan sebagai bagian *fixed cost* dari biaya operasi [4], dan akan diabaikan dalam proses pengerjaan pada Tugas Akhir ini.



Gambar 2-1 Kurva input-output pembangkit *thermal*[6]



Gambar 2-2 Pemodelan *boiler-turbin-generator* pada pembangkit *thermal*[6]

Pembangkit *thermal* sederhana terdiri dari *boiler*, turbin uap dan generator. Input dari *boiler* adalah bahan bakar dan output berupa uap. Hubungan dari input-output boiler dapat direpresentasikan dalam bentuk *convexcurve* [5]. Input dari turbin berupa sejumlah uap dengan output berupa daya listrik. Dengan menggabungkan karakteristik input-output dari *boiler* dan turbin generator, maka dapat diperoleh persamaan karakteristik dari keseluruhan sistem pembangkit.

Unit pembangkit juga memiliki karakteristik lainnya berupabatas minimum pembangkitan dan batas maksimum pembangkitan. Dimana batas minimum dari daya pembangkitan diperoleh dari kondisi teknis atau faktor lain pada *boiler* dan turbin. Pada turbin, kondisi teknis yang dimaksud adalah kondisi *shell* serta perbedaan suhu metal rotor, *exhausthoodtemperature*, *rotorexpansion* dan *shellexpansion*. Pada *boiler*, kondisi teknis tersebut disebabkan karena *fuelcombustionstability* and *valve*. Sedangkan batas maksimaldari daya output suatu pembangkit ditentukan kapasitas *boiler* dan turbin generator

Karakteristik input-output diekspresikan dalam persamaan yang merupakan pendekatan atau linearisasi dari biaya bahan bakar yang masuk ke generator terhadap daya output generator yang diperoleh berdasarkan beberapa cara, antara lain:

1. Berdasarkan percobaan empiris tentang efisiensi dari pembangkit
2. Berdasarkan data historis mengenai operasi dari unit generator
3. Berdasarkan pada data desain dari unit generator yang diberikan oleh pabrik pembuat generator

Persamaan karakteristik yang diperoleh sebagai biaya pembangkitan energi listrik dari suatu pembangkit. Persamaan karakteristik input-output pembangkit thermal secara umum direpresentasikan dalam persamaan orde dua. Tetapi persamaannya dapat juga memiliki orde lebih dari dua dan bisa menjadi tidak linear (*non-convex*) pada perhitungan yang lebih mendetail seperti pada saat memperhatikan pengaruh-pengaruh seperti valve-point effect.

Untuk menganalisis permasalahan mengenai operasi dalam sistem tenaga, terutama masalah operasi ekonomis, dibutuhkan karakteristik input-output dari suatu unit pembangkit thermal. Agar dapat mendefinisikan karakteristik input-output dari unit pembangkit, akan membahas mengenai *grossinput* dan *netoutput*.

Grossinput dari suatu pembangkit merepresentasikan total input dan diwujudkan dalam dolar per jam, atau ton bahan bakar perjam atau kubik gas per jam atau bentuk unit yang lain. sedangkan *netoutput* dari suatu pembangkit adalah output daya listrik yang tersedia untuk penggunaan pada sistem tenaga.

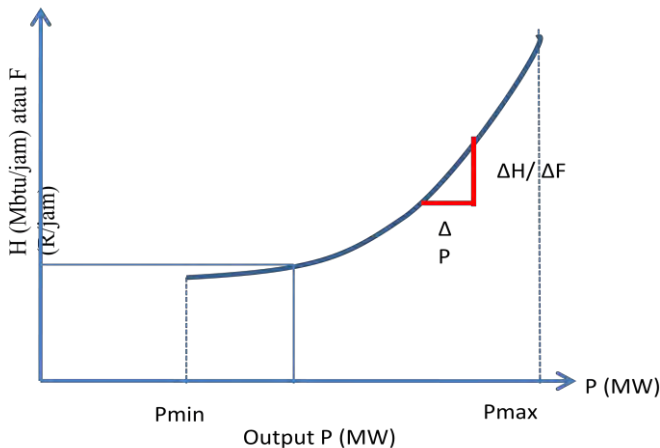
Dalam mendefinisikan karakteristik dari unit turbin uap digunakan beberapa konstanta sebagai berikut :

H = Btu per jam input panas pada unit (Mbtu/h)

F = Biaya bahan bakar dikalikan H adalah R per jam (R/h) input pada unit untuk bahan bakar

Biaya operasional R per jam suatu unit terdiri atas biaya operasional dan biaya pemeliharaan. Sehingga biaya pekerja akan dimasukkan sebagai bagian dari biaya operasi jika biaya ini dapat digambarkan secara langsung sebagai fungsi dari output unit. Output dari unit pembangkit dinotasikan dengan P .

Gambar 2.3 menunjukkan karakteristik output-input suatu unit pembangkit tenaga uap yang ideal



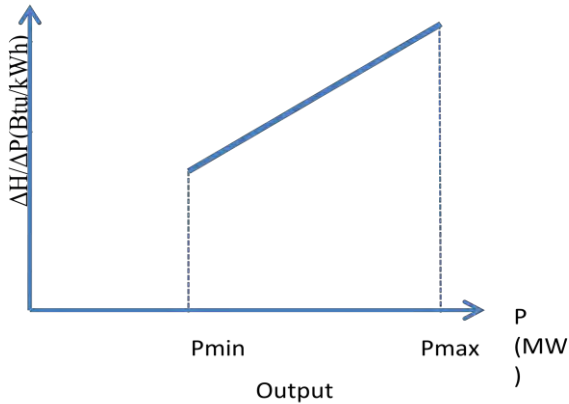
Gambar 2-3Kurva input-output pembangkit tenaga uap[6]

Input unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat dapat diterjemahkan pula dalam bentuk kebutuhan energi panas (Mbtu/jam) atau bentuk biaya total per jam (R/jam). Output adalah output daya listrik dari unit tersebut. Karakteristik yang ditunjukkan adalah bentuk ideal sehingga tampak halus berupa kurva cembung.

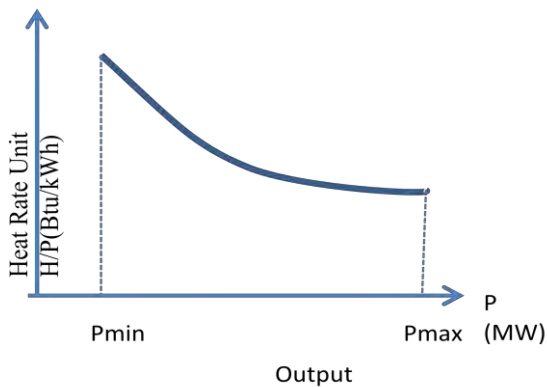
Karakteristik kenaikan panas dari unit pembangkit uap diperlihatkan pada gambar 2.3 karakteristik ini adalah kemiringan dari karakteristik input-ouput ($\Delta H/\Delta P$ atau $\Delta F/\Delta P$). Data yang ditunjukkan

pada kurva ini ditampilkan dalam satuan Btu per kilowatt jam (R per kilowatt jam).

Karakteristik yang terakhir adalah karakteristik panas suatu unit, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut



Gambar 2-4Representasi kurva kenaikan input[6]



Gambar 2-5Karakteristik *net heat rate* pembangkit tenaga uap[6]

2.2 Pembangkitan dengan Suplai Bahan Bakar Terbatas

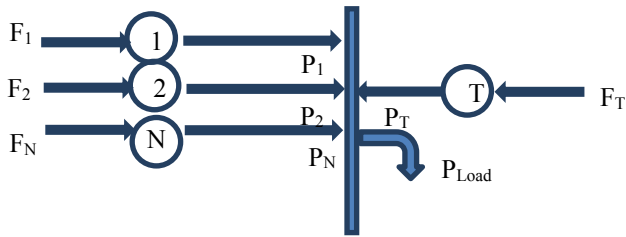
Pengoperasian ekonomis dari sistem pembangkitan menuntut penggunaan bahan bakar yang diminimalisir dari waktu ke waktu, karena berkaitan langsung dengan biaya operasi. Pada kondisi tidak ada pembatasan terhadap penggunaan bahan bakar dari unit-unit pembangkit, Operasi pembangkitan ekonomis dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma dari *economic dispatch*.

Pada saat sumber energi yang tersedia bagi unit pembangkit menjadi faktor pembatas untuk pengoperasian pembangkit, maka perhitungan dalam proses *economic dispatch* harus dilakukan dengan beberapa penyesuaian. Setiap perhitungan *economic dispatch* harus mempertimbangkan kondisi sebelum dan kondisi sesudah dari setiap interval pembebanan. Konsep yang digunakan merupakan pengembangan dari perumusan metode lagrange. Variabel *slack* dan fungsi *penalty* dilibatkan untuk menghasilkan solusi untuk kondisi tertentu.

Contoh pembatasan sumber energi pembangkit yang paling mudah adalah dengan pembatasan kontrak bahan bakar, bahan bakar yang kuantitasnya telah disepakati harus dibayar, walaupun bahan bakar tersebut tidak digunakan. *Take-or-pay fuel supply contract* dapat dikatakan merupakan contoh yang paling mudah untuk menggambarkan kondisi tersebut.

2.2.1 Take-or-Pay Fuel Supply Contract

Take or pay fuel supply contract adalah perjanjian mengenai sejumlah bahan bakar tertentu (*fixed*) yang harus dibayar, tanpa memperhitungkan apakah bahan bakar tersebut digunakan atau tidak. N unit termal dengan supply bahan bakar normal, 1 (satu) unit termal dengan *supply* bahan bakar yang menggunakan *take or pay agreement*. Maksud *Take or Pay agreement* adalah *utility company* akan menggunakan bahan bakar (minimum) selama periode tertentu, atau bila tidak bisa menggunakan jumlah minimum tersebut akan membayar biaya minimum yang telah disepakati[6]. Batasan *TOP* berfungsi untuk mengoptimalkan penggunaan gas pada unit yang terikat *Take or Pay (TOP) Fuel Supply Contract*, sehingga pemakaian gas nya tidak kurang atau tidak lebih dari kontrak gas yang telah ditentukan. [7] Bila penggunaan bahan bakar dari 1 (satu) unit tersebut dibawah jumlah minimum yang telah disepakati, maka N unit yang lain harus di optimasi untuk memperoleh total bahan bakar minimum [8].



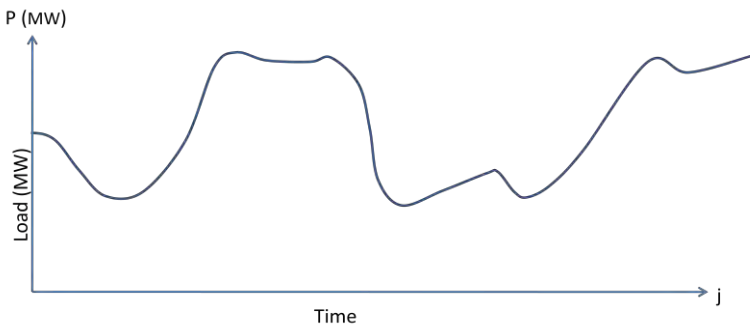
Gambar 2-6SkemaTake-or-Pay (ToP) Fuel Supply Contract[6]

Sistem $N+1$ unit dengan take or pay fuel supply pada unit T. Jumlah minimum konsumsi bahan bakar juga merupakan jumlah maksimum konsumsi bahan bakar yang disepakati. Sistem dioperasikan selama j_{\max} , dengan interval waktu $j : 1, \dots, j_{\max}$.

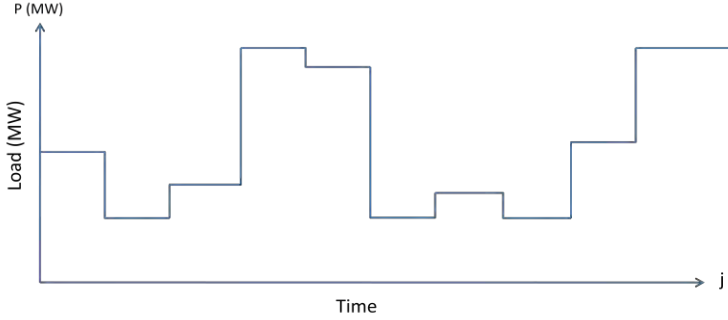
$P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{Tj}$ Daya Output

$F_{1j}, F_{2j}, \dots, F_{Nj}$ Biaya Bahan Bakar

$q_{T1}, q_{T2}, \dots, q_{Tj}$ Take or Pay input bahan bakar



Gambar 2-7Kurva Beban[6]



Gambar 2-8Kurva Beban Diskrit[6]

Kurva beban dibagi atas interval waktu, dengan asumsi beban konstan pada setiap interval waktu.

Pada setiap interval waktu beban diasumsikan Konstan

P_{ij} : daya dari unit i pada interval waktu j

F_{ij} : biaya (R/jam) unit i selama interval waktu j

q_{Tj} : input bahan bakar unit T pada interval waktu j

F_{Tj} : biaya (R/jam) unit T pada interval waktu j

P_{load-j} : total beban pada interval waktu j

n_j : jumlah jam pada interval waktu j

Formulasi :

$$\text{minimize } \sum_{j=1}^{j \max} \left(n_j \sum_{i=1}^N F_{ij} \right) + \sum_{j=1}^{j \max} n_j F_{Tj} \quad (2.1)$$

Parameter :

$$\phi = \sum_{j=1}^{j \max} n_j q_{Tj} - q_{TOT} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Tk}} = -\lambda_k + \gamma n_k \frac{dq_{Tk}}{dP_{Tk}} = 0 \quad (2.3)$$

(constraints)

$\sum_{j=1}^{j \max} n_j F_{Tj}$ Adalah konstan karena total bahan bakar yang digunakan unit T tetap, sehingga dapat dihilangkan dari fungsi objektif.

Fungsi Lagrange:

$$L = \sum_{j=1}^{j \max} n_j \sum_{i=1}^N F_{ij} + \sum_{j=1}^{j \max} \lambda_{Tj} \left(P_{loadj} - \sum_{i=1}^N P_{ij} - P_{Tj} \right) + \gamma \left(\sum_{j=1}^{j \max} n_j q_{Tj} - q_{TOT} \right) \quad (2.4)$$

P_{ij} dan P_{Tj} adalah variabel *independent* karena

$$F_{ij} = F_i(P_{ij}) \text{ dan } q_{Tj} = q_{Tj}(P_{Tj}) \quad (2.5)$$

Untuk setiap periode waktu $j=k$,

$$\frac{\partial L}{\partial P_{ik}} = 0 = n_k \frac{dF_{ik}}{dP_{ik}} - \lambda_k, \text{ Untuk } i=1, \dots, N \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Tk}} = -\lambda_k + \gamma n_k \frac{dq_{Tk}}{dP_{Tk}} = 0 \quad (2.7)$$

Asumsi semua unit ON-LINE selama periode optimasi. *Optimum dispatch* ditentukan dengan langkah pencarian sederhana untuk γ (metode *Gamma Search*).

2.3 Metode Penyelesaian *Economic Dispatch*

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai rumus dan metode penyelesaian *economic dispatch* yang berkaitan dalam pengerjaan tugas akhir ini, sehingga dapat mempermudah proses pemahaman .

2.3.1 Persamaan matematis permasalahan *Economic Dispatch*

Pembangkitan listrik memiliki tiga komponen biaya utama, antara lain biaya pembangunan, biaya kepemilikan, biaya operasional. Biaya operasional merupakan biaya yang berkaitan langsung dengan keuntungan penjualan produksi. Hal ini dikarenakan biaya operasional berhubungan langsung dengan manajemen pembangkitan daya listrik.

Salah satu bagian yang paling penting dalam biaya operasional adalah biaya bahan bakar (*fuelcost*). Setiap unit

pembangkitan nilai yang berbeda tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan dalam pembangkitan. Nilai dari *fuelcost* sangat mempengaruhi fungsi biaya yang didapat. Secara umum nilai dari *fuelcost* dapat dinyatakan dalam persamaan,

$$fuelcost = \frac{Fuelprice}{Rating Thermal} = \frac{R}{Mbtu} \quad (2.8)$$

Fuelcost merupakan harga persatuan panas dari bahan bakar, sedangkan *fuelprice* merupakan harga per satuan *volume* dari bahan bakar.

Pengaruh nilai *fuelcost* terhadap fungsi biaya dalam dilihat dalam persamaan objektif ED berikut,

$$Fi(Pi) = Hi(Pi) \times fuelcost \ i \quad (2.9)$$

$$Ftotal = \sum_{j=1}^{jmax} \left[nj \sum_{i=1}^n Fi(Pi) \right] \quad (2.10)$$

$$Qi(Pi) = \frac{Hi(Pi)}{Rating Thermal \ i} \quad (2.11)$$

$$Qtotal = \sum_{j=1}^{jmax} \left[nj \sum_{i=1}^n Qi(Pi) \right] \quad (2.12)$$

Hal mana

n = jumlah generator

Dengan terhubungnya banyak unit pembangkit dalam sebuah sistem interkoneksi memberikan kemungkinan pengaturan pembangkitan yang lebih kecil untuk setiap unit.

EqualityConstraint merupakan batasan yang merepresentasikan keseimbangan daya dalam sistem. Fungsi persamaan pada ED dinyatakan dalam persamaan,

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_{load} + P_{loss}, n = \text{jumlah generator}$$

$$\sum_{j=1}^{jmax} n_j \sum_{i=1}^n Q_i = Q_{target} \quad (2.13)$$

InequalityConstrain merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit. Pada ED fungsi pertidaksamaan dinyatakan dalam persamaan.

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (2.14)$$

Jika

$$P_i \leq P_{i \min} \quad (2.15)$$

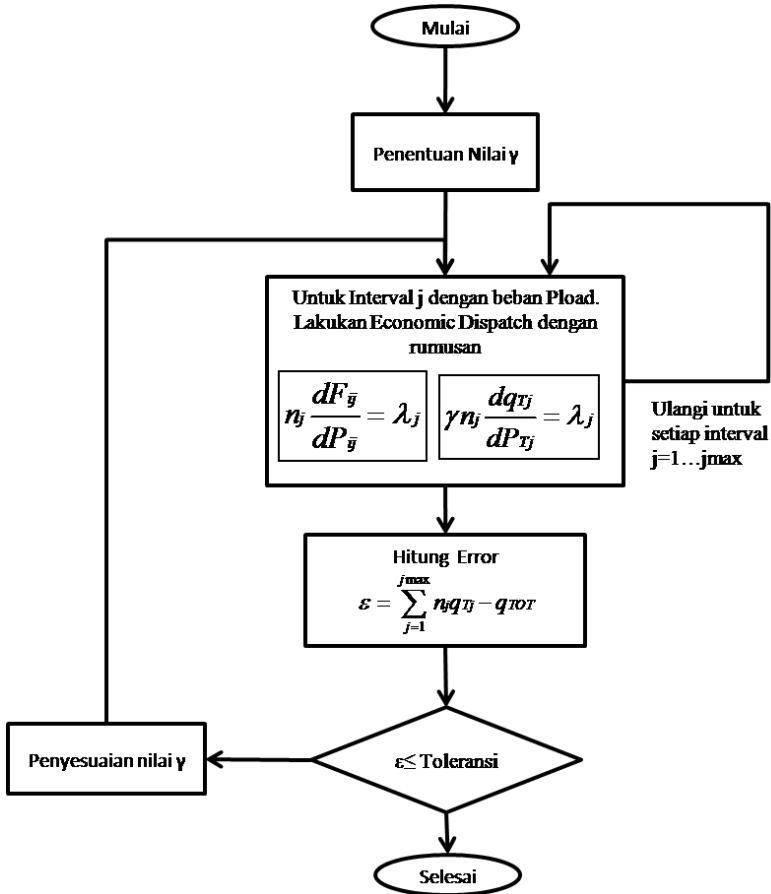
$$P_i = P_{i \min} \quad (2.16)$$

Jika

$$P_i \geq P_{i \max} \quad (2.17)$$

$$P_i = P_{i \max} \quad (2.18)$$

2.3.2 Gamma Search



Gambar 2-9Diagram alur metode gamma search[6]

Metode *gamma search* merupakan metode *lambda search* yang dilakukan berulang-ulang untuk masing-masing periode. Yang membedakan metode *gamma search* dibandingkan *lambda search* adalah pada *gamma search* dilakukan pengecekan total penggunaan bahan bakar oleh unit-unit pembangkitan. Dari persamaan nilai lambda yang awalnya

$$\lambda = n \frac{\partial Fi}{\partial Pi} Pfi \quad (2.19)$$

dimunculkan variabel baru berupa gamma

$$\partial Fi = n\gamma \partial qi \quad (2.20)$$

$$\lambda = n\gamma \frac{\partial qi}{\partial Pi} Pfi \quad (2.21)$$

Pada proses *lambda search* masing-masing periode pembebanan, nilai lambda pertama akan ditentukan terlebih dahulu. Tentunya nilai dari lambda pertama bukanlah hasil yang benar. Ketika nilai total dari $P1 + P2 + P3 + \dots Pi < Ptarget$ maka nilai λ untuk itersi berikutnya akan bertambah lebih besar dari nilai λ sebelumnya. Dan sebaliknya, jika nilai total $P1 + P2 + P3 + \dots Pi > Ptarget$ maka nilai λ untuk iterasi berikutnya akan lebih kecil daripada nilai dari λ sebelumnya. Proses ini akan melakukan itersi nilai λ hingga mendapatkan hasil dimana $P1 + P2 + P3 + \dots Pi = Ptarget$.

Nilai lambda dapat dilihat pada persamaan lagrangian:

$$\frac{\partial Fi}{\partial Pi} = \lambda \left(1 - \frac{\partial Ploss}{\partial Pi} \right) \quad (2.22)$$

$$\lambda = \frac{\partial Fi}{\partial Pi} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial Ploss}{\partial Pi}} \right) \quad (2.23)$$

$$\lambda = \frac{\partial Fi}{\partial Pi} Pfi \quad (2.24)$$

$$\lambda = n\gamma \frac{\partial qi}{\partial Pi} Pfi$$

Menentukan nilai λ_{start} dilihat dalam persamaan:

$$\lambda_{min} = \min \left(\frac{\partial F_i}{\partial P_i} P f_i, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (2.25)$$

$$\lambda_{max} = \max \left(\frac{\partial F_i}{\partial P_i} P f_i, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (2.26)$$

$$\lambda_{start} = \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2} \quad (2.27)$$

Menentukan nilai gamma

$$\gamma_{min} = \min \left(\frac{\lambda}{n \frac{\partial Q_i}{\partial t} P f}, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (2.28)$$

$$\gamma_{min} = 1,135$$

$$\gamma_{max} = \max \left(\frac{\lambda}{n \frac{\partial Q_i}{\partial t} P f}, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (2.29)$$

$$\gamma_{max} = 1,358 \quad (2.30)$$

Menentukan nilai Gammastart :

$$\gamma_{start} = \frac{\gamma_{max} + \gamma_{min}}{2} = 1,24741 \quad (2.31)$$

Untuk melakukan iterasi maka diperlukan $\Delta\lambda$, yang dapat dilihat dalam persamaan:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2} \quad (2.32)$$

$$P_{target} = P_{loss} + P_{load} \quad (2.33)$$

Jika,

$$\sum_i^n P_i - P_{target} > 0, \quad n = \text{Jumlah Generator} \quad (2.34)$$

$$\lambda = \lambda_{sebelum} - \Delta\lambda \quad (2.35)$$

Jika,

$$\sum_i^n P_i - P_{target} < 0, \quad n = \text{Jumlah Generator} \quad (2.36)$$

$$\lambda = \lambda_{sebelum} + \Delta\lambda \quad (2.37)$$

Nilai λ akan terus berubah hingga mendapatkan nilai,

$$\sum_i^n P_i - P_{target} = 0, \quad n = \text{Jumlah Generator} \quad (2.38)$$

Pada tugas akhir ini nilai *error* (ε) daya pembangkitan ditentukan sebesar 0,01. Ketika diimplementasikan ke dalam persamaan, maka nilai λ akan berhenti melakukan iterasi hingga mendapatkan nilai,

$$\sum_i^n P_i - P_{target} = \varepsilon, \quad n = \text{Jumlah Generator} \quad (2.39)$$

setiap nilai P_i harus memenuhi syarat inequality constrain
Proses lambda search di ulang untuk setiap interval jadwal pembebanan, sehingga di peroleh data pembagian pembangkitan tiap unit pembangkit per periode, sehingga selanjutnya di lakukan pengecekan penggunaan bahan bakar pada unit yang terkena batasan take-or-pay contract

$$Q_{total} = \sum_{j=1}^{j_{max}} [nj \sum_{i=1}^n Q_i(P_i)] \quad (2.40)$$

Apabila diperoleh hasil penggunaan bahan bakar yang tidak sama dengan target penggunaan bahan bakar yang disepakati maka diperlukan iterasi gamma. Untuk melakukan iterasi gamma diperlukan nilai $\Delta\gamma$ yang diperoleh melalui persamaan

$$\Delta\gamma = \frac{-\Delta q_{tot}}{\sum_{j=1}^{j_{\max}} \frac{\lambda_j^2}{2cn_{j\gamma}^3}} \quad (2.41)$$

Sehingga diperoleh nilai γ baru,

$$\gamma_{new} = \gamma \pm \Delta\gamma \quad (2.42)$$

Setelah diperoleh nilai gamma baru, maka proses diulang kembali dari proses pembagian pembangkitan per periode menggunakan nilai gamma dan lambda terakhir hingga dapat diperoleh hasil akhir yang memenuhi batasan-batasan

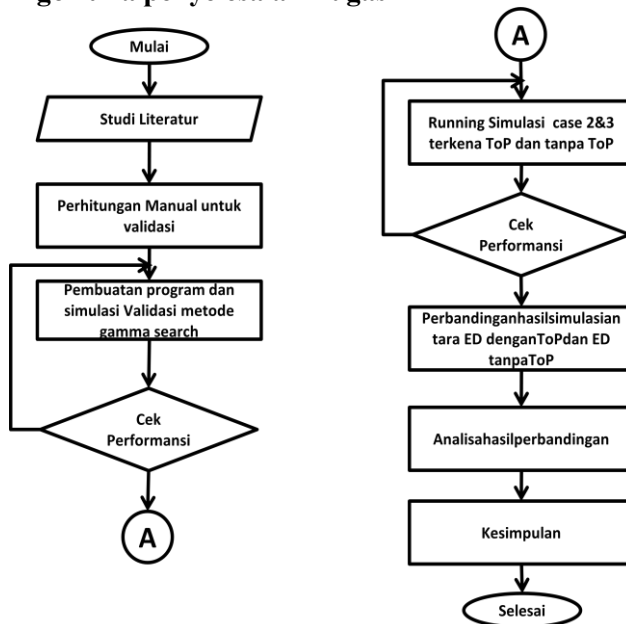
-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 3

PENGAPLIKASIAN METODE GAMMA SEARCH PADA ECONOMIC DISPATCH YANG MEMPERHATIKAN BATASAN TAKE-OR-PAY (TOP)

Dalam bab ini dijelaskan mengenai pengaplikasian metode *gamma search* untuk menyelesaikan permasalahan *economic dispatch* yang memperhatikan batasan *take-or-pay* (ToP) pada suatu sistem kelistrikan. Pengolahan data dan simulasi dikerjakan dengan menggunakan hasil pengembangan *software* Powergen yang berbasis Delphi 7. Hasil program metode *gamma search* akan diuji menggunakan contoh sistem pada buku “power generation, operation, and control” karangan Allen J. Wood.

3.1 Algoritma penyelesaian Tugas Akhir



Gambar 3-1Flowchart Penyelesaian Tugas Akhir

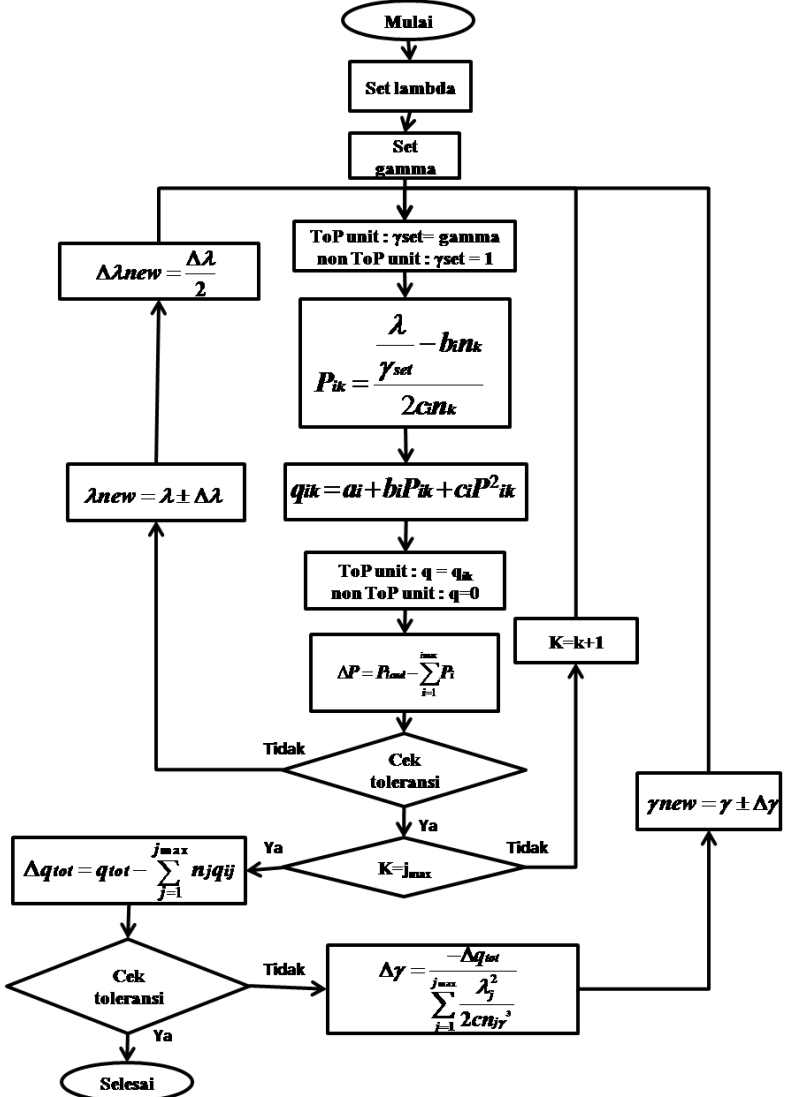
Alur Tugas akhir dimulai dengan studi literatur dan perhitungan solusi manual menggunakan metode *gamma search* pada contoh permasalahan yang telah tersedia pada buku “*power generation, operation, and control*” karangan Allen J. Wood. Hal ini diperlukan untuk memastikan alur kerja dari metode *gamma search* dan membandingkan hasil simulasi sebagai validasi apakah program yang dibentuk telah berhasil secara akurat atau tidak. Setelah diperoleh perhitungan manual dan setelah di bandingkan kesamaannya dengan hasil akhir yang tercantum pada buku, maka proses pengerjaan Tugas Akhir dapat dilanjutkan ke tahap pengembangan program.

Pada tahap pengembangan program Powergen, digunakan bahasa pemrograman Delphi. Sebelumnya, telah ditentukan variable dan parameter yang akan diolah. Sehingga pengembangan program menjadi lebih terarah.

Setelah program selesai dikembangkan, dilakukan validasi dengan cara memasukkan variabel pada contoh permasalahan di buku. Pada awalnya akan terjadi kesalahan perhitungan, baik berupa akurasi atau secara keseluruhan terjadi kesalahan. Sehingga perlu dilakukan perbaikan pada susunan program. Proses ini berlangsung terus hingga diperoleh susunan program *economic dispatch* metode *gamma search* yang dapat mengolah data permasalahan dengan akurat.

Setelah proses validasi berhasil, maka program yang dikembangkan pada tugas akhir ini terbukti validitasnya, sehingga dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan *economic dispatch* lain yang juga terkena batasan *Take-or-Pay fuel supply contract*. Untuk permasalahan pada case kedua dan ketiga, menggunakan data dari referensi paper[9], berupa karakteristik-karakteristik input output dari 10 pembangkit dan untuk data masukan rating thermal dan harga bahan bakar persatuan unit, menggunakan data yang sama dengan permasalahan validasi, dan nilai *Take-or-Pay contract* yang dikenakan adalah sejumlah 25000 ccf. Pada kasus kedua, unit yang terkena batasan ToP adalah unit 1 sedangkan untuk kasus ketiga, unit yang terkena batasan ToP adalah unit 1 dan unit 2. Running simulasi masing-masing kasus dilakukan dua kali, yaitu mempertimbangkan batasan *Take-or-pay contract* dan mengabaikan batasan *Take-or-pay contract*. Kemudian dilakukan perbandingan terhadap hasil perhitungan program ED metode *gamma search* tanpa *Take or Pay* dan dengan *Take or Pay*. Perbandingan meliputi daya pembangkitan dan biaya pembangkitan.

3.2 Metode *gamma search* pada Delphi



Gambar 3-2 Alur Metode *gamma search* pada Delphi

Gamma search merupakan metode penyelesaian permasalahan economic dispatch yang mempertimbangkan faktor nilai *take-or-pay contract*. *Gamma search* bekerja dengan cara mendekatkan nilai penggunaan bahan bakar dengan nilai *Take-or-Pay contract*, namun *gamma search* tetap mengusahakan agar tetap memenuhi target pembangkitan, hal ini dapat terwujud, karena didalam proses gamma search terdapat alur metode *lambda search*. Sehingga dapat dikatakan nilai gamma bertujuan untuk memenuhi target penggunaan bahan bakar, dan nilai lambda bertujuan untuk memenuhi target pembangkitan

3.2.1 Sintaksisprogram *Gamma Search* pada delphi

Sintaksis program adalah perintah yang digunakan untuk melakukan pemanggilan program dengan argumen input yang kita masukkan. Sehingga untuk menjalankan metode gamma search pada program Powergen yang berbasis Delphi ini dibutuhkan sintaksis program sebagai berikut :

Tabel 3.1Daftar sintaksis yang digunakan pada program gamma search

Sintaksis	Keterangan
datadump	Digunakan sebagai perintah menampilkan data permasalahan <i>ED</i> pada lembar <i>Output</i>
Data_input	Digunakan untuk menerima masukan dari data <i>file</i> yang telah tersimpan di awal
Data_output	Digunakan untuk menulis masukan pada data <i>file</i> , agar dapat tersimpan
ihr_ftn	Sebagai inisiasi turunan pertama persamaan $H_i(P_i(t))$ yang nantinya akan dikalikan dengan <i>fuelcost</i> , sehingga didapatkan inisiasi $\frac{\partial Fi}{\partial pi}$
invers_ihr_ftn	Mencari nilai pembangkitan setiap unit ketika didapatkan nilai lambda
lambda_search_di spatch	Sebagai prosedur penjalanan metode <i>lambdasearch</i> , yaitu dengan menentukan nilai λ_{start} dan $\Delta\lambda$ untuk proses iterasi. Bertujuan memperoleh nilai pembangkitanyang memenuhi target pembebanan

Tabel 3.1lanjutan daftar sintaksis yang digunakan pada program gamma search

Sintaksis	Keterangan
Denomi_delgam	Merupakan prosedur untuk mencari nilai pembagi dalam rumusan mencari delta gamma
prod_cost	Mendapatkan nilai biaya pembangkitan setiap unit setelah mendapatkan nilai pembangkitan yang optimal dari proses <i>lambdasearch</i>
Prod_qty	Merupakan prosedur untuk mendapatkan nilai penggunaan bahan bakar yang digunakan oleh unit yang dikenai batasan kontrak ToP
Lamgam_search_dispatch	Merupakan prosedur lambda search yang dimodifikasi agar dapat digabungkan ke dalam prosedur <i>gammasearchdispatch</i>
Gamma_search_dispatch	Merupakan prosedur iterasi gamma, bertujuan untuk memenuhi target penggunaan bahan bakar sesuai nilai batasan take-or-pay contract
Output_Routine	Merupakan prosedur untuk memperoleh hasil akhir tiap periode
Output_final	Merupakan prosedur untuk memproses dan menampilkan hasil akhir dari seluruh periode pembebanan

3.2.2 Argumentasi input output pada delphi

Argumen input adalah variabel yang akan kita libatkan sebagai data input dalam program.

Tabel 3.2Daftar argumentasi input output gamma search pada Delphi

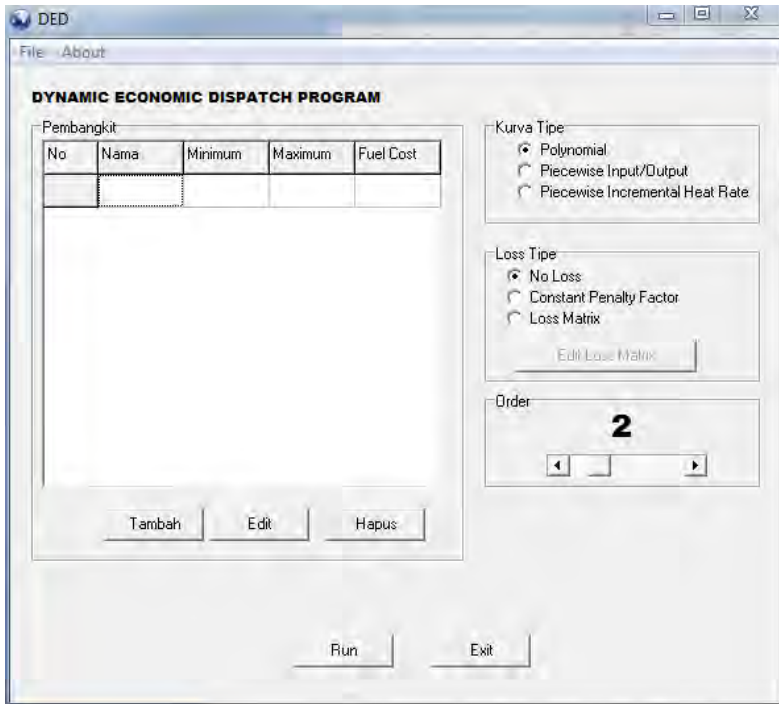
Argumen	Keterangan
Coeff[i]	Sebagai masukan awal dari nilai koefisien A, B, C dalam persamaan $Hi(Pi(t)) = ai + biPi(t) + ciPi(t)^2$
Unitmax[i]	Sebagai masukan awal dari batas maximum pembangkitan unit (Pmax)
Unitmin[i]	Sebagaimasukan awal dari batasan minimum pembangkititan unit (Pmin)

Tabel 3.2 Daftar argumentasi input output gamma search pada Delphi (lanjutan)

Argumen	Keterangan
Fuelcost[i]	Sebagai masukan awal nilai dari <i>fuelcost</i> yang digunakan untuk persamaan $Fi(Pi(t)) = Hi(Pi(t)) \times fuelcosti$
Fuelprice[i]	Merupakan harga bahan bakar per satuan jumlah atau <i>volume</i>
Rating[i]	Merupakan nilai rating <i>thermal</i> dari bahan bakar yang digunakan oleh unit pembangkit
Loadjam[i]	Sebagai masukan nilai beban (<i>Pload</i>) di setiap periode
Data_period[i]	Sebagai data <i>array</i> dari nilai pembangkitan masing-masing unit pada tiap periode
Total_period[i]	Sebagai data array dari total biaya pembangkitan dari masing-masing periode
Takeorpay[i]	Merupakan identifier atas unit yang dikenai batasan take-or-pay contract
schedqty	Merupakan masukan nilai bahan bakar yang harus digunakan
finalqty	Merupakan total keseluruhan penggunaan bahan bakar
numofload	Merupakan masukan banyak interval pembebanan
duraload	Merupakan masukan lama masing-masing interval pembebanan

3.3 Penggunaan software *economicdispatch* metode *gamma search*

Berikut akan dijelaskan mengenai aplikasi perhitungan yang digunakan dalam tugas akhir ini. Seperti yang telah dinyatakan sebelumnya aplikasi perhitungan dibuat dengan menggunakan Delphi 7. Berikut adalah tampilan aplikasi pada Gambar 3.3.



Gambar 3-3Tampilan Utama Aplikasi

Tombol ‘Tambah’, ‘Edit’, dan ‘Hapus’ digunakan untuk mengisi data karakteristik pembangkit yang telah ditentukan.. Ketika tombol ‘Edit’ atau “Tambah” digunakan maka akan muncul formulir pengisian data pembangkit seperti yang dipelihatkan pada Gambar 3.4.

The screenshot shows a software window titled "Data Pembangkit". It contains several input sections:

- Nama Unit:** A text box containing "UNIT1".
- Unit Limit:** Two text boxes labeled "Minimum" and "Maximum", both containing "0.000".
- Fuel Cost:** A text box containing "1.000".
- Take or Pay Contract:** Two radio buttons, "No" (selected) and "Yes".
- Orde Polynomial:** A table with two columns: "Orde Ke" and "Nilai".

Orde Ke	Nilai
0	0.000000
1	0.000000
2	0.000000
- Rating gas:** A text box containing "0.000" with the unit "(Btu/unit)" to its right.
- Harga Bahan Bakar:** A text box containing "0.000" with the unit "\$/unit" to its right.
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom right.

Gambar 3-4Tampilan Data Karakteristik Pembangkit

Tombol ‘Tambah’, ‘Edit’, dan ‘Hapus’ pada gambar 3.3 digunakan untuk mengisi data karakteristik pembangkit yang telah ditentukan.. Ketika tombol ‘Edit’ atau “Tambah” digunakan maka akan muncul formulir pengisian data pembangkit seperti yang dipelihatkan pada Gambar 3.4.

Gambar 3.4 memperlihatkan, bagian Label ‘Minimum’ dan ‘Maximum, diisi dengan nilai batasan minimum dan maximum masing-masing unit. Label ‘Fuelcost’ diisi dengan nila fuelcost setiap unit.

Tersedia opsi “Yes”or “No” pada kolom Take or Pay contract, berfungsi sebagai identifier sebuah unit apakah terkena batasan Take-or-Pay atau tidak. Sedangkan Label “Rating gas” merupakan masukan rating thermal dari jenis bahan bakar dan label “Harga Bahan Bakar” merupakan masukan untuk nilai harga bahan bakar persatuan jumlah. Label “Rating gas” dan “Harga Bahan Bakar” hanya dapat diisi pada unit pembangkit yang dikenai batasan *Take-or-Pay*.

Pada tabel ‘Orde Polynomial’ orde 0 berisi koefisien A, orde1 berisi koefisien B dan orde 2 berisi koefisien C pada persamaan Heat rate

Tombol ‘Next’ dan ‘Previous’ digunakan untuk memindah form pengisian data katarakteristik pembangkit sebelum dan sesudah. Tombol ‘Ok’ ditekan setelah data yang digunakan telah selesai diisi.

Setelah semua bilangan yang dibutuhkan telah terisi, maka tombol ‘Ok’ ditekan dan tampilan menu utama akan muncul kembali seperti pada Gambar 3.3.

Setelah semua data yang digunakan telah diinputkan kemudian tekan tombol ‘Run’ pada Gambar 3.3, maka akan keluar formulir pengisian beban setiap periode yang diinginkan. Nilai beban juga tidakboleh melebihi kampasitas maksimal pembangkitan dan tidak boleh kurang dari kapasitas minimal dari pembangkitan. Formulir pengisian beban pada setiap periodenya dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut,

The image shows a 'Set up Solution' window with the following components:

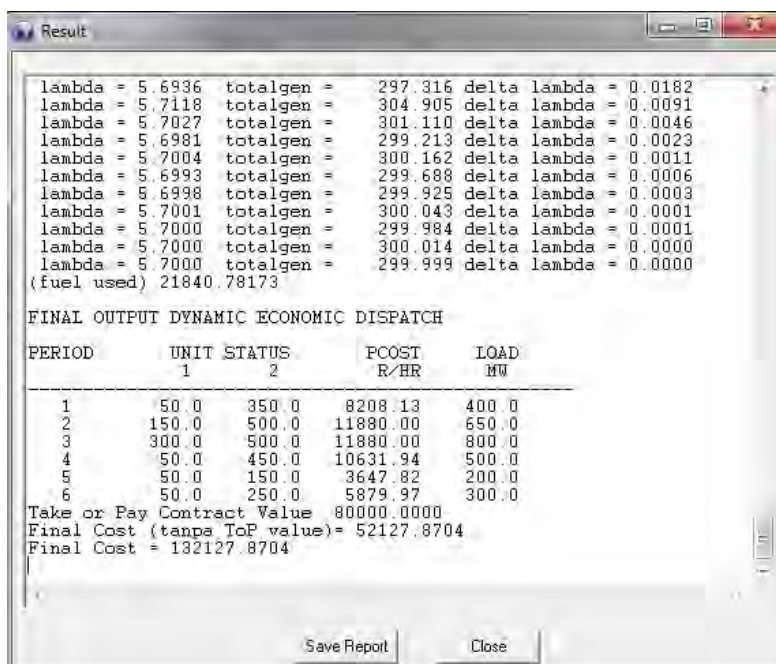
- Solution Method:** Radio buttons for 'Lambda Search' (selected) and 'Gamma Search'.
- Generation Limits:**
 - Maximum generation is: 900.0
 - Minimum generation is: 100.0
 - Spinning Reserve is: 0.0
- Schedule Type:** Radio buttons for 'Take or Pay Quantity' (selected) and 'Fuel price fix'.
- Input Fields:**
 - Take or Pay Quantity: [] (unit)
 - Fuel price fix: [] (\$/unit)
 - Number Of Load: []
 - Duration of Load: []
- Enter Total Load:** A table with 5 columns and 2 rows. The first row has 5 empty cells. The second row has 5 empty cells, with the first cell highlighted by a dotted border.
- Buttons:** An 'Ok' button at the bottom right.

Gambar 3-5Tampilan Pengisian Beban

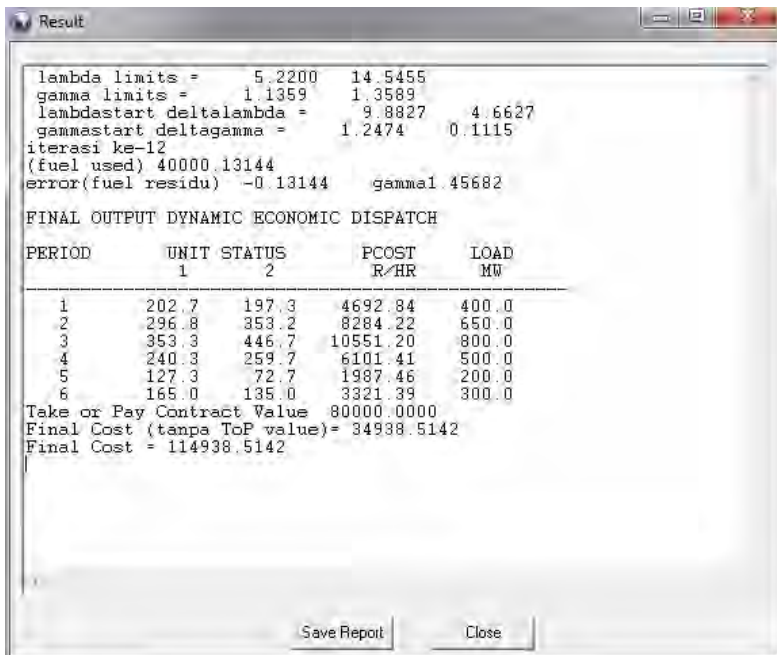
Pada Gambar 3.5Terdapat opsi “Lambda Search” dan “Gamma Search”. “lambda Search” untuk memproses perhitungan tanpa memperhatikan batasan *Take-or-Pay* dan “Gamma Search untuk

memproses perhitungan dengan memperhatikan batasan *Take-or-Pay*. Label “Take-or-Pay Quantity” merupakan masukan jumlah kuantitas kontrak penggunaan bahan bakar. Label “fuel price fix” merupakan masukan harga bahan bakar per satuan unit. Label “Number of Load” merupakan masukan untuk menentukan jumlah periode atau interval pembebanan. Sedangkan label “Duration of Load” merupakan masukan lama waktu atau durasi masing-masing interval.

Tombol ‘Ok’ ditekan setelah semua kolom pengisian beban disetiap periode telah disikan dan akan muncul form hasil keluaran perhitungan Aplikasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3-6Tampilan Hasil Perhitungan Aplikasi



Gambar 3-7Tampilan Hasil Perhitungan Aplikasi

Tombol ‘Save Report’ berfungsi untuk menyimpan hasil perhitungan DED yang telah dilakukan. Data yang disimpan akan berupa file.txt.

3.4 Perhitungan manual uji validasi

Sebagai langkah untuk mempermudah pemahaman dari metode *gamma search* ini serta sebagai salah satu cara untuk melakukan verifikasi hasil pada saat menyusun program *gamma search* pada Delphi 7 ini, maka di lakukan perhitungan manual untuk contoh kasus yang akan digunakan sebagai uji validasi, yaitu contoh kasus 6B dalam buku “power generation, operation, and control” karangan Allen J. Wood.

Berikut ini merupakan data karakteristik dan data pembebanan yang digunakan pada uji validasi, dimana batasan Take-or-Pay yang

dikenakan adalah unit 1 harus menggunakan bahan bakar sejumlah 40000 ccf (cubic centum feet= 1000 ft³)

Tabel 3.3Data karakteristik pembangkit untuk perhitungan manual

No	Fungsi Heat rate	Batas pembangkitan		Fuel price	Rating termal
		Min	max		
1	$300+6P_T+0,0025P_T^2$	50	400	2	1100
2	$200+8,5P_S+0,002P_S^2$	50	500	0,6	1000

Tabel 3.4Pola pembebanan untuk perhitungan manual

No	Periode	Beban
1	12 PM- 4AM	400
2	4AM-8AM	650
3	8AM-12 AM	800
4	12 AM-4AM	500
5	4PM-8PM	200
6	8PM-12PM	300

Dalam penyelesaian ini, dilakukan secara bertahap. Tahap-tahap yang dimaksudkan adalah sebagai berikut:

Tahap 1:

Mencari fuelcost :

$$\text{fuelcost} = \frac{\text{fuelprice}}{\text{ratingthermal}(i)} \quad (3.1)$$

$$\text{fuelcost unit 1} = \frac{2}{1.1} = 1,818$$

$$\text{fuelcost unit 2} = \frac{0.6}{1} = 0,6$$

Tahap 2

Mencari persamaan fungsi biaya

$$F_{(i)} = H_{(i)} \times \text{fuelcost}_{(i)} \quad (3.2)$$

$$H_{(1)} = 300 + 6P_1 + 0,0025P_1^2$$

$$\begin{aligned}
H_{(2)} &= 300 + 8,5P_2 + 0,002P_2^2 \\
F_{(1)} &= 545,4545 + 10,909P_1 + 0,004545P_1^2 \\
F_{(2)} &= 120 + 5,1P_2 + 0,0012P_2^2
\end{aligned}$$

Mencari persamaan fungsi penggunaan bahan bakar

$$Q(i) = \frac{H(i)}{Rating_{thermal}(i)} \quad (3.3)$$

$$Q_{(1)} = 272,7373 + 5,4545P_1 + 0,002273P_1^2$$

$$Q_{(2)} = 200 + 8,5P_2 + 0,002P_2^2$$

Tahap 3

Menentukan nilai lambda

$$\lambda_{min} = \min \left(n \frac{\partial F_i}{\partial P_i} Pf, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (3.4)$$

$$\lambda_{min} = 20,88$$

$$\lambda_{max} = \max \left(n \frac{\partial F_i}{\partial P_i} Pf, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (3.5)$$

$$\lambda_{max} = 58,1818$$

Menentukan Lambda start:

$$\lambda_{start} = \frac{\lambda_{max} + \lambda_{min}}{2} = 39,53091 \quad (3.6)$$

Menentukan Delta Lambda (dicari untuk melakukan iterasi):

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{2} = 18,65091$$

Tahap 4

Menentukan nilai gamma

$$\gamma_{min} = \min \left(\frac{\lambda}{n \frac{\partial Q_i}{\partial Q_i} P_f}, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (3.7)$$

$$\gamma_{min} = 1,135$$

$$\gamma_{max} = \max \left(\frac{\lambda}{n \frac{\partial Q_i}{\partial Q_i} P_f}, i = 1 \dots \text{Jumlah Generator} \right) \quad (3.8)$$

$$\gamma_{max} = 1,358$$

Menentukan γ_{start} :

$$\gamma_{start} = \frac{\gamma_{max} + \gamma_{min}}{2} = 1,24741 \quad (3.9)$$

Tahap 5

Melakukan metode *lambda search*, yaitu dengan memasukkan nilai lambda yang didapat kemudian melakukan iterasi pada lambda dengan cara menambah dan mengurangi nilai lambda sebesar $\frac{\Delta\lambda}{2}$. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pembangkitan daya yang sesuai dengan pembebanan yang diinginkan.

Periode 1 : 400 MW

$$\lambda_{iter1} = 39,53 \dots \dots \dots totalgen = 745,68$$

$$\lambda_{iter2} = 20,88 \dots \dots \dots totalgen = 100$$

$$\lambda_{iter3} = 30,205 \dots \dots \dots totalgen = 100$$

.
.
.

$$\lambda_{iter16} = 34,94 \dots \dots \dots totalgen = 400$$

$$P1 = \frac{\frac{\lambda}{\gamma} - (4 \times 5,4545)}{4 \times 2 \times 0,002273} = \frac{\frac{34,94}{1,24} - (4 \times 5,4545)}{4 \times 2 \times 0,002273} = 340$$

$$P2 = \frac{\frac{\lambda}{\gamma} - (4 \times 5,4545)}{4 \times 2 \times 0,002273} = \frac{\frac{34,94}{1,24} - (4 \times 5,1)}{4 \times 2 \times 0,0024} = 60$$

Proses *lambda search* diulangi dengan cara yang sama untuk kelima periode selanjutnya sehingga diperoleh hasil

Tabel 3.5Hasil perhitungan manual iterasi pertama gamma search

	Pola beban	hasil pembangkitan	
No	Beban(MW)	Pt(MW)	Ps(MW)
1	400	340,8405	59,1595
2	650	400	250
3	800	400	400
4	500	382,2053	117,7947
5	200	150	50
6	300	250	50

Setelah selesai proses *lambda search* untuk semua periode, maka dilakukan pengecekan total penggunaan bahan bakar

Tahap 6

Pengecekan penggunaan bahan bakar unit yang terkena batasan *take-or-Pay contract*

$$Q(P_{(i)}) = a + bP_i + cP_i^2$$

$$Q_{(1)} = 272,7373 + 5,4545P_1 + 0,002273P_1^2$$

Periode 1:340

$$Q(340) = (272,7373 + 5,4545(340) + 0,002273(340)^2) \times 4 \text{ jam} = 9583$$

Periode 2:400

$$Q(400) = (272,7373 + 5,4545(400) + 0,002273(400)^2) \times 4 \text{ jam} = 11272$$

Periode 3:400

$$Q(400) = (272,7373 + 5,4545(400) + 0,002273(400)^2) \times 4 \text{ jam} = 11272$$

Periode 4:382

$$Q(382) = 272,7373 + 5,4545(382) + 0,002273(382)^2 = 10757$$

Periode 5:150

$$Q(150) = 272,7373 + 5,4545(150) + 0,002273(150)^2 = 4568$$

Periode 6:250

$$Q(250) = 272,7373 + 5,4545(250) + 0,002273(250)^2 = 7113,6$$

Sehingga diperoleh total penggunaan bahan bakar sebanyak 54568ccf. Sehingga diperlukan iterasi gamma dengan mengubah nilai gamma agar dapat diperoleh penggunaan bahan bakar yang sesuai

Tahap 7

Mencari nilai *delta* gamma

$$\Delta\gamma = \frac{-\Delta q_{tot}}{\sum_{j=1}^{j_{max}} \frac{\lambda_j^2}{2cn_{j\gamma^3}}} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{j_{max}} \frac{\lambda_j^2}{2cn_{j\gamma^3}} &= \frac{34,94^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \frac{37,99^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \\ &\frac{38,00^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \frac{40,39^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \\ &\frac{35,88^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \frac{30,61^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} + \\ &\frac{32,88^2}{2 \times 0,002273 \times 4 \times 1,24^3} = 215468,4 \end{aligned}$$

$$\Delta\gamma = \frac{-\Delta q_{tot}}{\sum_{j=1}^{j_{max}} \frac{\lambda_j^2}{2cn_j\gamma^3}} = \frac{14568}{215468,4} = 0,00006$$

Menentukan nilai gamma baru

$$\gamma_{new} = \gamma \pm \Delta\gamma \quad (3.11)$$

$$\gamma_{new} = 1,24 + 0,00006 = 1,24006$$

Setelah diperoleh nilai gamma baru, maka proses diulang kembali dari tahap 4 dengan nilai gamma dan lambda terakhir hinggadiperoleh hasil akhir yang memenuhi batasan-batasan. Hasil akhir yang dimaksud adalah sebagai berikut, dapat dilihat pada Tabel 3.6

Tabel 3.6Hasil akhir perhitungan manual gamma search

No	Beban (MW)	hasil pembangkitan		q use (ccf)
		Pt (MW)	Ps (MW)	
1	400	202,653	197,347	5885,776
2	650	296,7908	353,2092	8367,114
3	800	353,2734	446,7266	9933,258
4	500	240,3081	259,6919	6858,976
5	200	127,3427	72,65725	4016,716
6	300	164,9979	135,0021	4938,356
				40000,02

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Validasi program *Gamma Search*

Program economic dispatch metode gamma search yang telah dibuat, di uji kebenarannya melalui uji validasi/ uji validasi menggunakan data pembangkit, rating thermal dan harga bahan bakar yang telah tersedia pada contoh kasus 6B dalam buku “power generation, operation, and control” karangan Allen J. Wood. Apabila dalam proses simulasi diperoleh hasil yang sama dengan contoh pada buku, maka program dikatakan telah dikembangkan dengan baik.

Untuk melakukan uji validasi diperlukan data-data sebagai masukan dalam program gamma search. Tabel 4.1 merupakan data karakteristik pembangkit masing-masing unit dan Tabel 4.2 merupakan data pembebanan per interval.

Pada uji validasi, batasan Take-or-Pay yang dikenakan adalah unit 1 harus menggunakan bahan bakar sejumlah 40000 ccf (cubic centum feet = 1000 ft³)

Tabel 4.1 Data karakteristik pembangkit untuk uji validasi

No	Fungsi Heat rate	Batas pembangkitan (MW)		Fuel price (R/ccf)	Rating thermal (MBtu/ccf)
		min	max		
1	$300 + 6P_T + 0,0025P_T^2$	50	400	2	1100
2	$200 + 8,5P_S + 0,002P_S^2$	50	500	0,6	1000

Tabel 4.2 Pola pembebanan

No	Periode	Beban (MW)
1	12 PM- 4AM	400
2	4AM-8AM	650
3	8AM-12 AM	800
4	12 AM-4AM	500
5	4PM-8PM	200
6	8PM-12PM	300

4.1.1 Simulasi

Dari hasil simulasi dalam program, diperoleh hasil pemecahan masalah yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 untuk hasil yang mengabaikan batasan ToP dan Tabel 4.4 untuk hasil yang mempertimbangkan batasan ToP

Tabel 4.3 Hasil simulasi powergen tanpa memperhatikan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)		Biaya (R)
		1	2	
1	400	50	350	8208,13
2	650	150	500	11880
3	800	300	500	11880
4	500	50	450	10631,94
5	200	50	150	3647,82
6	300	50	250	5879,97
Fuel used (ccf)		21840,78		
Biaya pembangkitan (R)		52127,8704		
Nilai kontrak ToP (R)		80000		
Total Biaya Keseluruhan (R)		132127,8704		

Tabel 4.4 Hasil simulasi powergen dengan mempertimbangkan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)		Biaya (R)
		1	2	
1	400	202,7	197,3	4692,84
2	650	296,8	353,2	8284,22
3	800	353,3	446,7	10551,2
4	500	240,3	259,7	6101,41
5	200	127,3	72,7	1987,46
6	300	165	135	3321,39
Fuel used (ccf)		40000		
Biaya pembangkitan (R)		34938,5142		
Nilai kontrak ToP (R)		80000		
Total Biaya Keseluruhan (R)		114938,5142		

4.1.2 Analisis

Dari data hasil perhitungan pada buku “power generation and control” karangan Allen J. Wood dan data hasil simulasi dengan menggunakan *software* powergen yang telah dikembangkan dapat dilihat bahwa nilai yang diperoleh adalah sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa program *economicdispatch* metode *gammasearch* yang dikembangkan ini telah dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan *economic dispatch* yang terkena batasan *take-or-pay contract*.

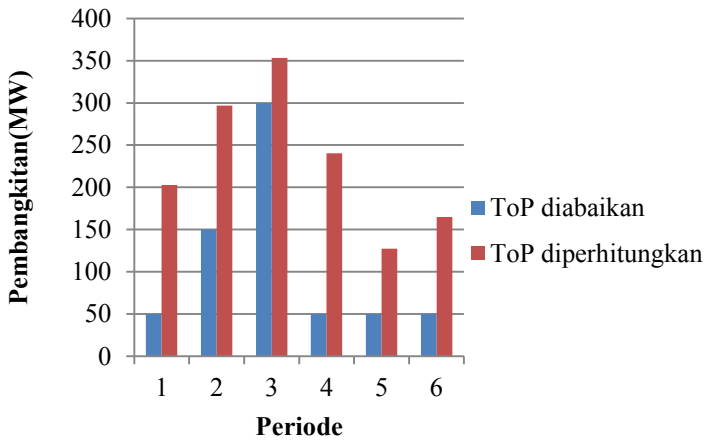
Selain itu, apabila dianalisis lebih dalam. Dari hasil perhitungan *economic dispatch* dengan mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* pada Tabel 4.3 dan perhitungan *economic dispatch* dengan mempertimbangkan batasan *Take-or-Pay contract* pada Tabel 4.4. Terlihat bahwa hasil perhitungan *economic dispatch* yang tidak memperhatikan batasan *Take-or-Pay contract* berbeda dengan hasil perhitungan *economic dispatch* yang memperhatikan batasan *Take-or-Pay contract*

Pada proses perhitungan *economic dispatch* tanpa memperhatikan batasan *take-or-pay contract*, unit 1 memiliki nilai *fuelcost* yang mahal sehingga dalam pembagian pembebanan, unit 1 menempati prioritas yang paling rendah. Dalam kondisi normal, prioritas pembebanan seperti ini akan menghasilkan kombinasi biaya pembangkitan yang paling murah, namun karena unit 1 terikat oleh batasan *Take-or-Pay contract* sebesar 40000 ccf, sedangkan jumlah penggunaan bahan bakar oleh unit 1 hanya sebesar 21840,78 ccf sehingga terjadi *inefficiency* pada kontrak, karena bahan bakar yang tidak digunakan tetap wajib dibayar,

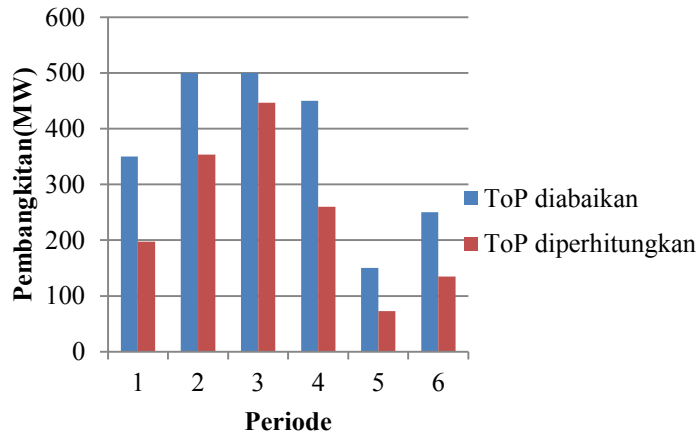
Pada proses perhitungan *economic dispatch* yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay contract*, diperoleh kombinasi biaya pembangkitan yang lebih ekonomis, hal ini dikarenakan penggunaan bahan bakar pada unit 1 diusahakan sedemikian rupa dengan cara meningkatkan proporsi pembangkitan pada unit 1 yang terkena batasan *take-or-pay* agar memenuhi nilai kontrak *take-or-pay* sebesar 40000 ccf, sehingga tidak ada bahan bakar yang tersisa. Dengan demikian, telah diperoleh kombinasi biaya yang paling ekonomis

Pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2 dapat dilihat perbandingan pembangkitan daya masing-masing unit yang mengabaikan batasan *Take or Pay* dengan yang memperhatikan batasan *Take or Pay*. Unit 1 yang terkena batasan *take-or-pay* sehingga dengan metode *gamma search*,

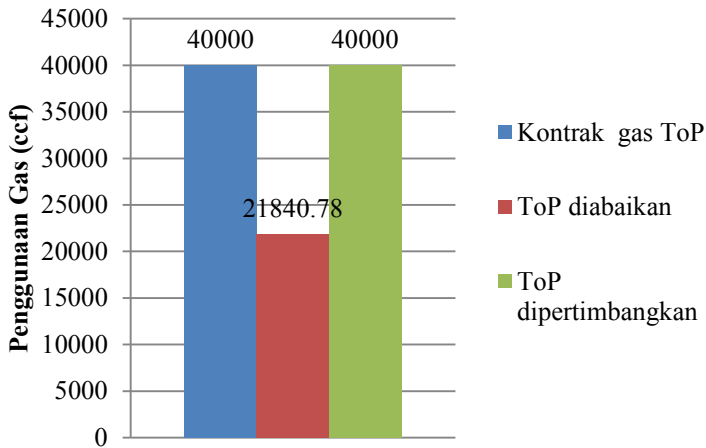
ditingkatkan pembangkitan dayanya agar penggunaan bahan bakar memenuhi kesepakatan take-or-pay, sedangkan unit 2 mengalami penurunan daya pembangkitan demi memenuhi equality constraint dari economic dispatch.



Gambar 4-1Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1



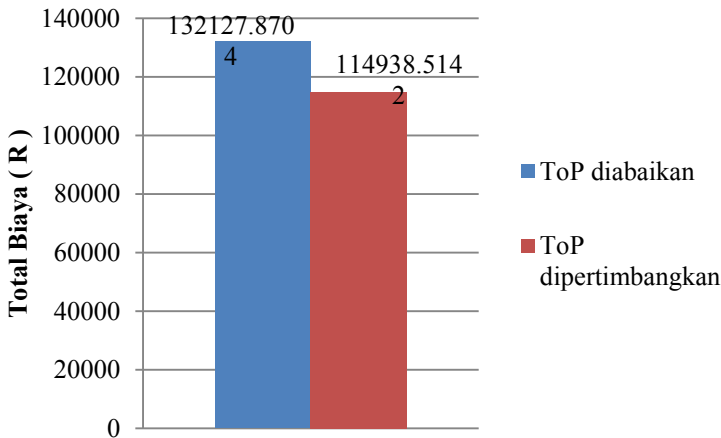
Gambar 4-2Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2



Gambar 4-3 Grafik perbandingan penggunaan gas

$$\text{Selisih penggunaan gas} = 40000 - 21840,78 = 18159,22$$

Pada Gambar 4-3 dapat dilihat perbandingan penggunaan bahan bakar gas oleh pembangkit yang terkena batasan *Take-or-Pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* penggunaan gas tidak memenuhi kesepakatan kontrak, sehingga terjadi selisih sebesar 18159.22 ccf. Sehingga terdapat selisih gas yang tidak terpakai namun tetap harus dibayar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya *inefficiency* pada total biaya yang harus dibayarkan. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh penggunaan bahan bakar gas sejumlah 40000 ccf dan sesuai dengan jumlah yang telah disepakati dalam kontrak. Sehingga tidak terjadi *inefficiency* dalam total biaya yang dibayarkan, dan biaya dapat menjadi lebih murah



Gambar 4-4 Grafik perbandingan Total Biaya

$$\text{Selisih Total Biaya} = 132127,8704 - 114938,5142 = 17189,3562$$

Pada Gambar 4-4 dapat dilihat perbandingan Total biaya antara perhitungan yang mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* dengan yang mempertimbangkan *Take-or-pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* total biaya yang diperoleh adalah sebesar 132127,8704. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh total biaya sebesar 114938,5142. apabila dibandingkan, perhitungan *gamma search* yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay contract* mendapatkan total biaya yang lebih murah, dengan selisih sebesar 17189,3562. Hal ini dikarenakan pada perhitungan yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay* tidak terdapat bahan bakar yang tersisa, sehingga biaya yang dibayarkan menjadi minimal.

4.2 Sistem dengan 10 unit pembangkit

Setelah program *ED* metode *gamma search* memenuhi ekspektasi pada uji validasi, maka program ini telah dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam skala yang lebih besar. Untuk itu, dipilihlah data karakteristik dari paper “Economic Dispatch for Power Generation Using Artificial Neural Network” hasil penelitian Sakorn Panta dan Suttichai Premrudeepreechacham dari Thailand.

Untuk melakukan simulasi studi kasus diperlukan data-data sebagai masukan dalam program *gamma search*. Tabel 4.5 merupakan data karakteristik pembangkit masing-masing unit dan Tabel 4.6 merupakan data pembebanan per interval.

Tabel 4.5 Data karakteristik pembangkit, sistem 10 unit

No	Fungsi Heat rate	Batas pembangkitan (MW)		Fuel price (R/ccf)	Rating thermal (MBtu/ccf)
		min	max		
1	$1000 + 18,19P_1 + 0,0068P_1^2$	150	600	2	1,1
2	$970 + 19,26P_2 + 0,0071P_2^2$	50	200	2	1,1
3	$600 + 19,8P_3 + 0,0065P_3^2$	50	200	0,6	1
4	$700 + 19,1P_4 + 0,005P_4^2$	50	200	0,6	1
5	$420 + 18,1P_5 + 0,00738P_5^2$	50	160	0,6	1
6	$360 + 19,26P_6 + 0,00612P_6^2$	20	100	0,6	1
7	$490 + 17,14P_7 + 0,0079P_7^2$	25	125	0,6	1
8	$660 + 18,92P_8 + 0,00813P_8^2$	50	150	0,6	1
9	$765 + 18,27P_9 + 0,00522P_9^2$	50	200	0,6	1
10	$770 + 18,92P_{10} + 0,00573P_{10}^2$	30	150	0,6	1

Tabel 4.6 Pola pembebanan untuk sistem 10 unit pembangkit

No	Periode	Beban (MW)
1	1	650
2	2	1300
3	3	1900

4.2.1 Sistem 10 unit pembangkit dengan 1 unit terkena *ToP*

Pada kasus kedua ini, dari 10 unit pembangkit yang ada, yang dikenai batasan *take-or-pay contract* adalah unit 1. Dimana unit 1 diharuskan menggunakan bahan bakar sejumlah 25000ccf

4.2.1.1 Simulasi

Dari hasil simulasi dalam program, diperoleh hasil pemecahan masalah yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 untuk hasil yang mengabaikan batasan ToP dan Tabel 4.8 untuk hasil yang mempertimbangkan batasan ToP

Tabel 4.7 Hasil simulasi kasus pertama tanpa memperhatikan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		1	2	3	4	5
1	650	150	50	50	50	61,4
2	1300	150	50	77,7	171	160
3	1900	415	200	200	200	160
Periode	Beban	Unit				
		6	7	8	9	10
1	650	20	118,1	50	70,5	30
2	1300	100	125	116,3	200	150
3	1900	100	125	150	200	150
Fuel used (ccf)		15893,63				
Biaya pembangkitan (R)		58183,5220				
Nilai kontrak ToP (R)		50000				
Total Biaya Keseluruhan (R)		108183,5220				

Tabel 4.8 Hasil simulasi kasus pertama dengan memperhatikan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		1	2	3	4	5
1	650	242,5	50	50	50	50
2	1300	401,9	182,7	50	76,8	119,8
3	1900	518	200	107,2	200	160

Tabel 4.8 Hasil simulasi kasus kedua dengan memperhatikan batasan ToP (Lanjutan)

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		6	7	8	9	10
1	650	20	57,4	50	50	30
2	1300	49,7	125	58,3	153,1	82,7
3	1900	100	125	139,8	200	150
Fuel used (ccf)				24970,97		
Biaya pembangkitan (R)				56170,0684		
Nilai kontrak ToP (R)				50000		
Total Biaya Keseluruhan (R)				106170,0684		

4.2.1.2 Analisis

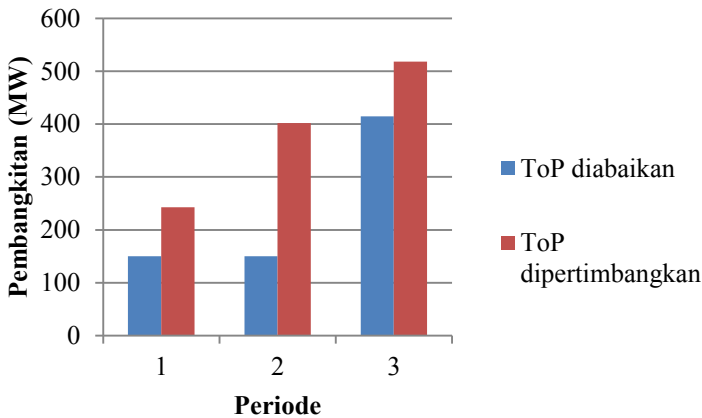
Dari hasil perhitungan *economic dispatch* dengan mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* pada Tabel 4.7 dan perhitungan *economic dispatch* dengan mempertimbangkan batasan *Take-or-Pay contract* pada Tabel 4.8. Terlihat bahwa hasil perhitungan *economic dispatch* yang tidak memperhatikan batasan *Take-or-Pay contract* berbeda dengan hasil perhitungan *economic dispatch* yang memperhatikan batasan *Take-or-Pay contract* pada proses perhitungan optimalisasi

Pada proses perhitungan *economic dispatch* tanpa memperhitungkan batasan *take-or-pay contract*, unit 1 dan 2 memiliki nilai *fuelcost* yang mahal sehingga dalam pembagian pembebanan, unit 1 dan 2 menempati prioritas yang paling rendah. Dalam kondisi normal, prioritas pembebanan seperti ini akan menghasilkan kombinasi biaya pembangkitan yang paling murah, namun karena unit 1 terikat oleh batasan *Take-or-Pay contract* sebesar 25000 ccf, sedangkan jumlah penggunaan bahan bakar oleh unit 1 hanya sebesar 15893,63ccf sehingga terjadi *inefficiency* pada kontrak, bahan bakar yang tidak digunakan tetap wajib dibayar, sehingga pada perhitungan *economic dispatch* tanpa memperhatikan batasan *Take-or-Pay contract* menghasilkan kombinasi biaya yang lebih mahal

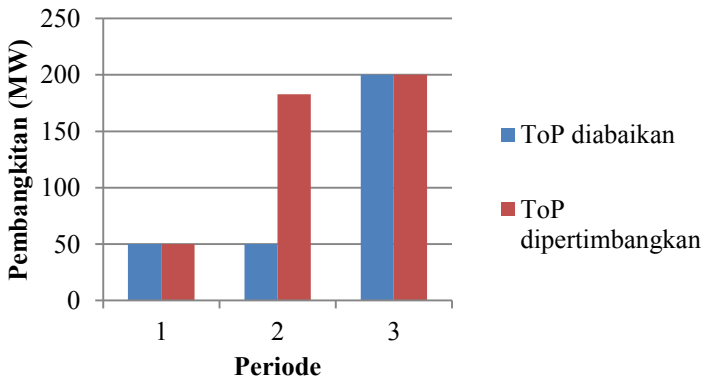
Pada proses perhitungan *economic dispatch* yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay contract*, diperoleh kombinasi biaya pembangkitan yang lebih ekonomis, hal ini dikarenakan

penggunaan bahan bakar pada unit 1 diusahakan sedemikian rupa agar mendekati nilai kontrak take-o-pay sebesar 25000 ccf, sehingga meminimalkan bakar yang tersisa. Dengan demikian, telah diperoleh kombinasi biaya yang paling ekonomis

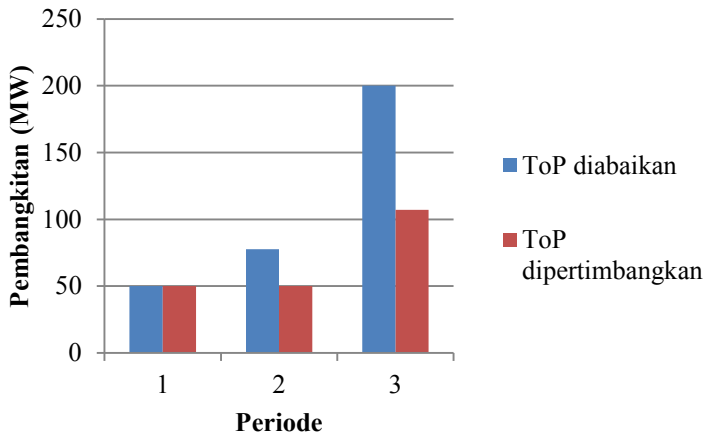
Perubahan pembangkitan dari masing-masing unit pembangkit dapat dilihat pada Gambar 4-5 sampai gambarGambar 4-14



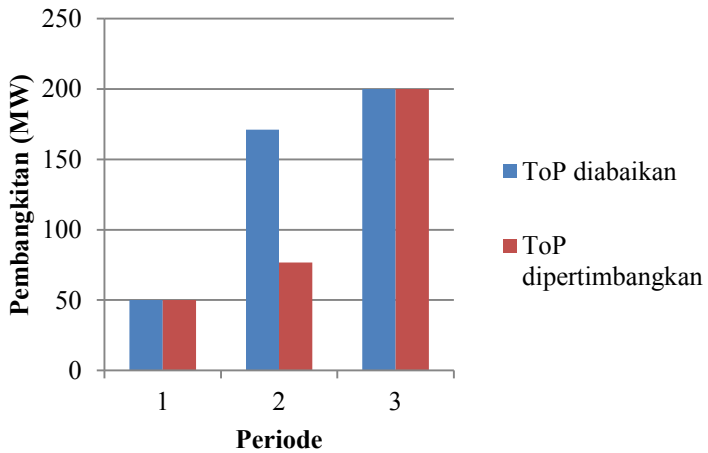
Gambar 4-5Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1



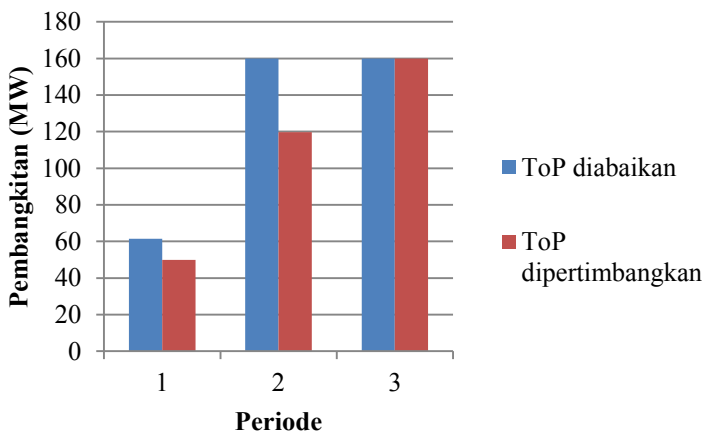
Gambar 4-6Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2



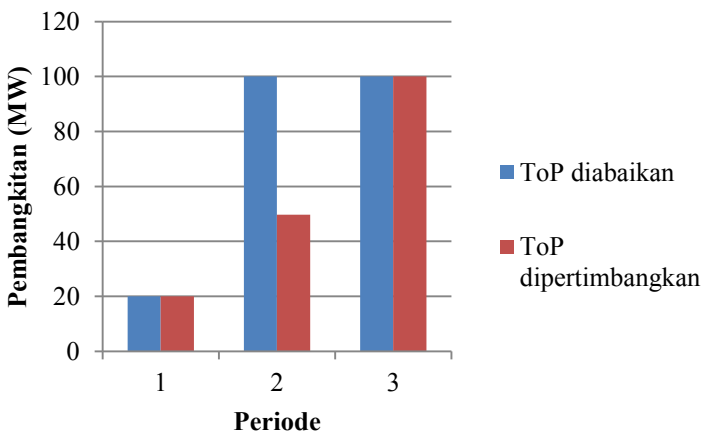
Gambar 4-7Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 3



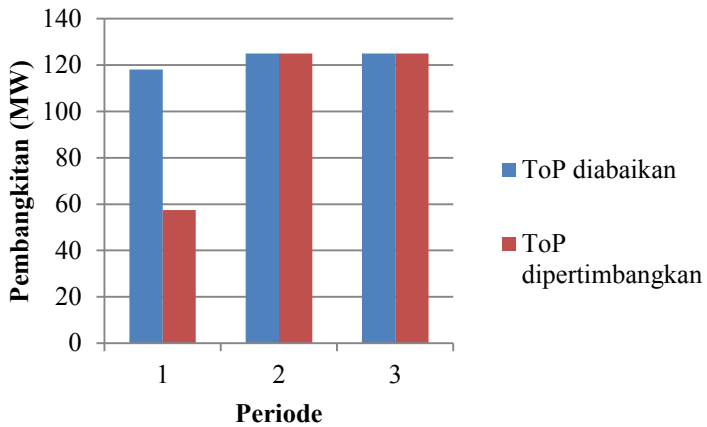
Gambar 4-8Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 4



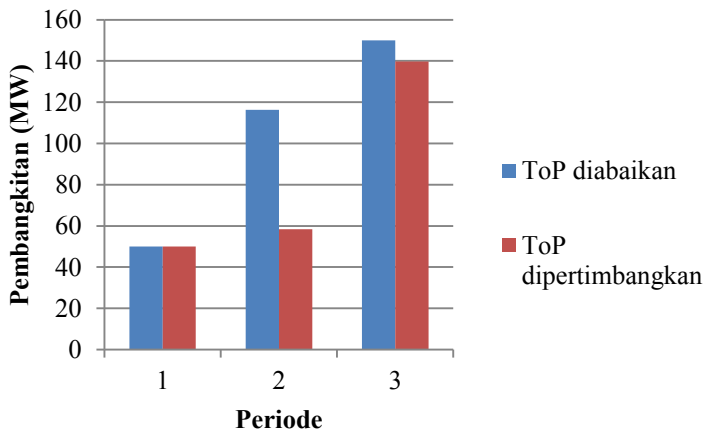
Gambar 4-9Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 5



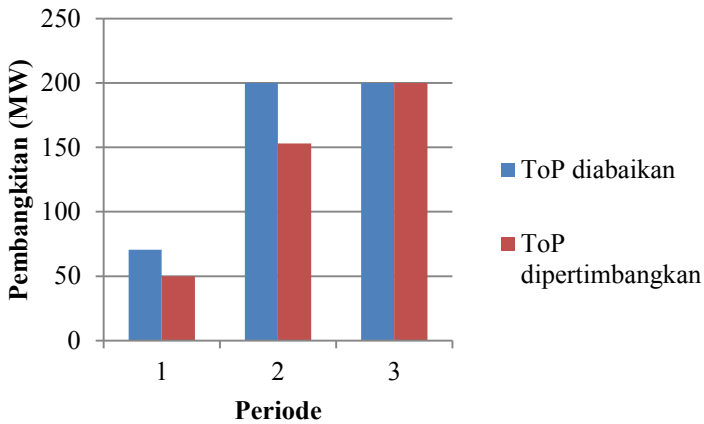
Gambar 4-10Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 6



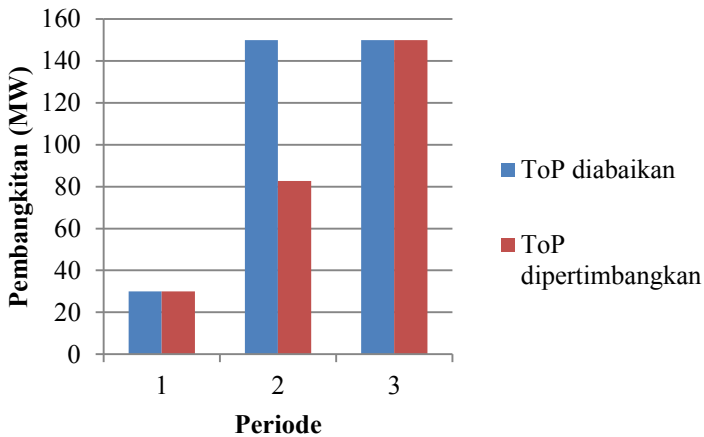
Gambar 4-11Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 7



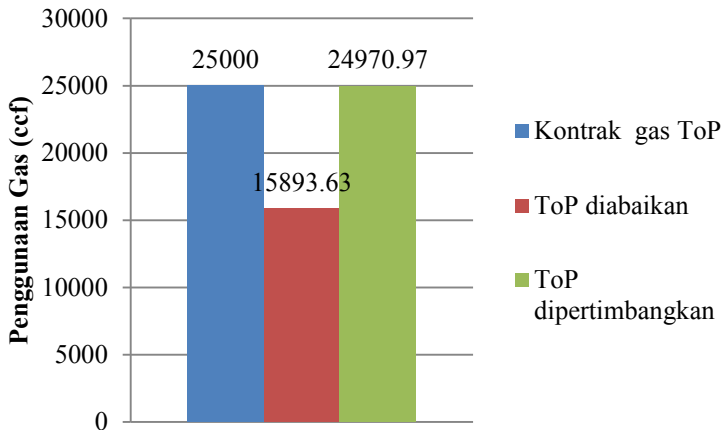
Gambar 4-12Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 8



Gambar 4-13Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 9



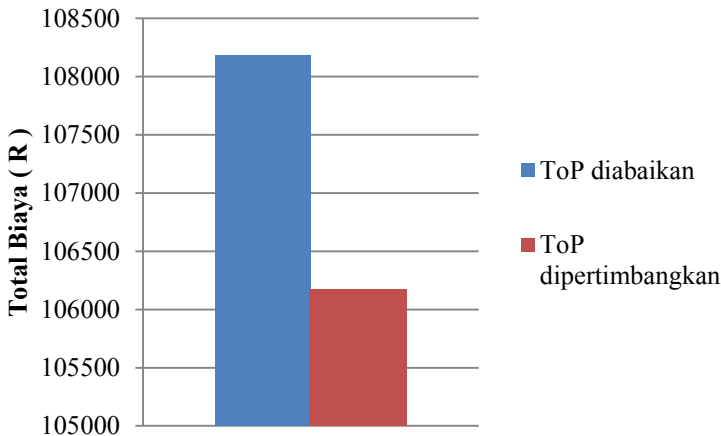
Gambar 4-14Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 10



Gambar 4-15 Grafik perbandingan penggunaan gas

$$\text{Selisih penggunaan gas} = 24970.97 - 15893.63 = 9077.34$$

Pada Gambar 4-15 dapat dilihat perbandingan penggunaan bahan bakar gas oleh pembangkit yang terkena batasan *Take-or-Pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* penggunaan gas hanya sebesar 15893.63 dan tidak memenuhi kesepakatan kontrak, sehingga terjadi selisih sebesar 9077.34 ccf. Sehingga terdapat selisih gas yang tidak terpakai namun tetap harus dibayar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya *inefficiency* pada total biaya yang harus dibayarkan. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh penggunaan bahan bakar gas sejumlah 24970.97 ccf dan sesuai dengan jumlah yang telah disepakati dalam kontrak. Sehingga tidak terjadi *inefficiency* dalam total biaya yang dibayarkan, dan biaya dapat menjadi lebih murah.



Gambar 4-16 Grafik perbandingan Total Biaya

$$\text{Selisih Total Biaya} = 108183,522 - 106170,0684 = 2013,4536$$

Pada Gambar 4-416 dapat dilihat perbandingan Total biaya antara perhitungan yang mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* dengan yang mempertimbangkan *Take-or-pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* total biaya yang diperoleh adalah sebesar 108183,522. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh total biaya sebesar 106170,0684. apabila dibandingkan, perhitungan *gamma search* yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay contract* mendapatkan total biaya yang lebih murah, dengan selisih sebesar 2013,4536. Hal ini dikarenakan pada perhitungan yang mempertimbangkan batasan *take-or-pay* tidak terdapat bahan bakar yang tersisa, sehingga biaya yang dibayarkan menjadi minimal.

4.2.2 Sistem 10 unit pembangkit dengan 2 unit terkena ToP

Pada kasus kedua ini, dari 10 unit pembangkit yang ada, yang dikenai batasan *take-or-pay contract* adalah unit 1 dan unit 2. Dimana unit 1 dan unit 2 diharuskan menggunakan bahan bakar secara keseluruhan sejumlah 25000 ccf

4.2.2.1 Simulasi

Dari hasil simulasi dalam program, diperoleh hasil pemecahan masalah yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 untuk hasil yang mengabaikan batasan ToP dan Tabel 4.10 untuk hasil yang mempertimbangkan batasan ToP

Tabel 4.9 Hasil simulasi kasus kedua tanpa memperhatikan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		1	2	3	4	5
1	650	150	50	50	50	61,4
2	1300	150	50	77,7	171	160
3	1900	415	200	200	200	1160
Periode	Beban (MW)	Unit				
		6	7	8	9	10
1	650	20	118,1	50	70,5	30
2	1300	100	125	116,3	200	150
3	1900	100	125	150	200	150
Fuel used (ccf)		24082,26797				
Biaya pembangkitan (R)		41807,8870				
Nilai kontrak ToP (R)		50000				
Total Biaya Keseluruhan (R)		91807,8870				

Tabel 4.10 Hasil simulasi kasus kedua memperhatikan batasan ToP

Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		1	2	3	4	5
1	650	150	50	50	50	61,4
2	1300	150	50	77,7	171	160
3	1900	415	200	200	200	160

Tabel 4.10 Hasil simulasi kasus kedua memperhatikan batasan ToP (Lanjutan)

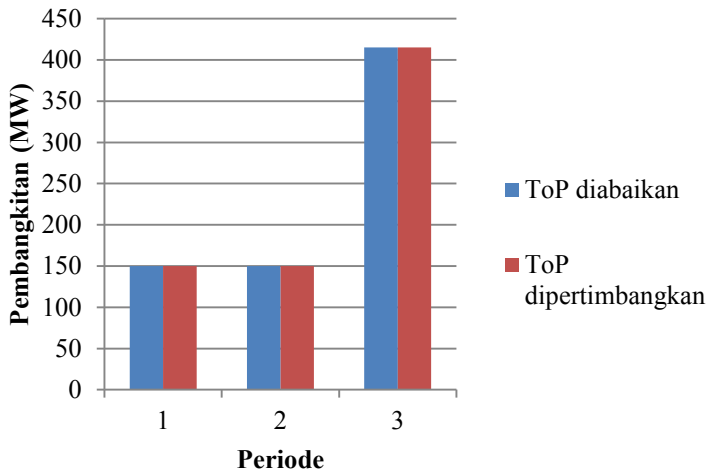
Periode	Beban (MW)	Unit (MW)				
		6	7	8	9	10
1	650	20	118,1	50	70,5	30
2	1300	100	125	116,3	200	150
3	1900	100	125	150	200	150
Fuel used (ccf)		24082,38165				
Biaya pembangkitan (R)		41808,0493				
Nilai kontrak ToP (R)		50000				
Total Biaya Keseluruhan (R)		91808,0493				

4.2.2.2 Analisis

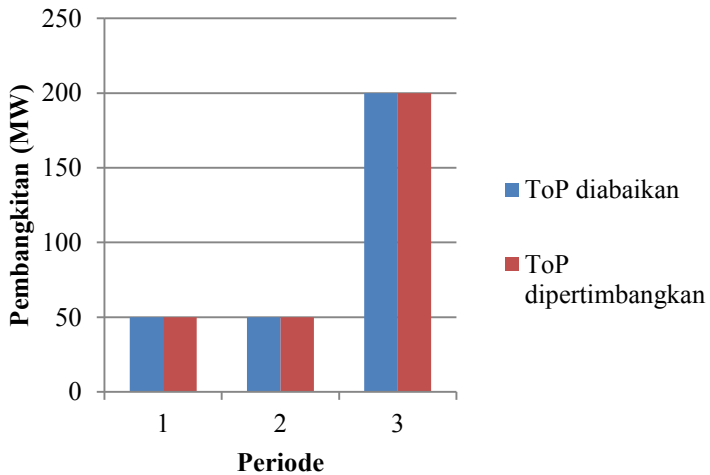
Dari hasil perhitungan *economic dispatch* pada Tabel 4.9 yang mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* dan hasil perhitungan *economic dispatch* pada Tabel 4.10 yang mempertimbangkan batasan *Take-or-Pay contract*, terlihat bahwa kedua hasil perhitungan menampilkan hasil kombinasi biaya pembangkitan yang sama sebesar 91808,0493

Hal ini dikarenakan pada proses optimalisasi yang mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract*, penggunaan bahan bakar telah mendekati nilai dari kontrak *ToP* yaitu 24082,26797ccfdari nilai kontrak sebesar 25000ccf, sehingga apabila dilakukan optimalisasi dengan mempertimbangkan batasan *take-or-pay contract* menggunakan metode *gamma search*, hasil yang diperoleh tidak berbeda, karena penggunaan bahan bakar pada unit yang terkena batasan kontrak sudah pada titik optimal atau sesuai dengan nilai kontrak.

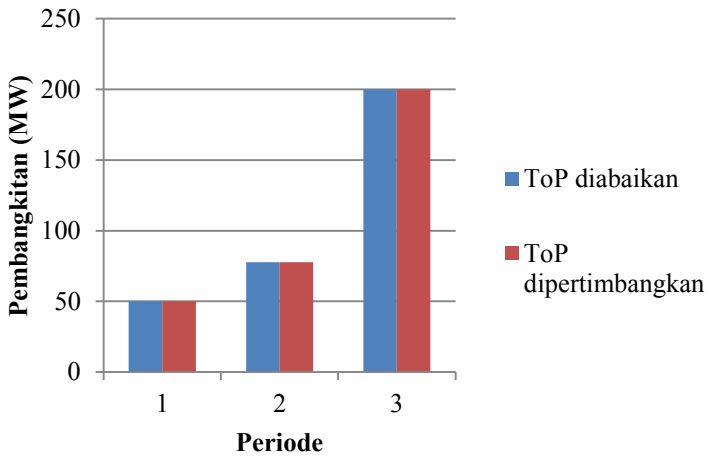
Hasil perbandingan pembangkitan unit 1 hingga unit 10 pada kasus ketiga ini dapat dilihat pada Gambar 4-17 hingga Gambar 4-26



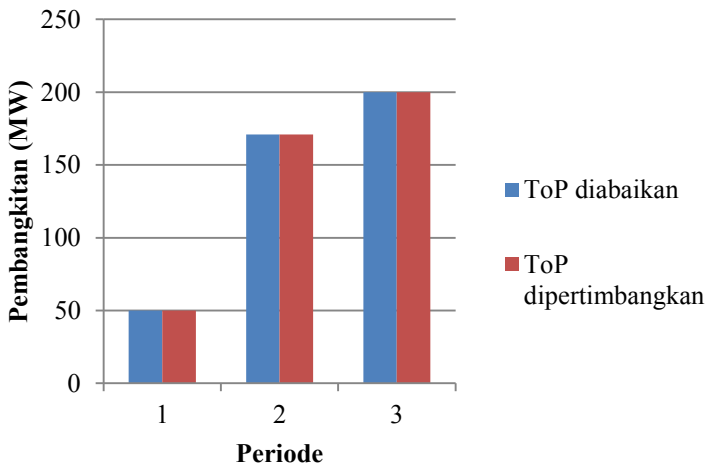
Gambar 4-17Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 1



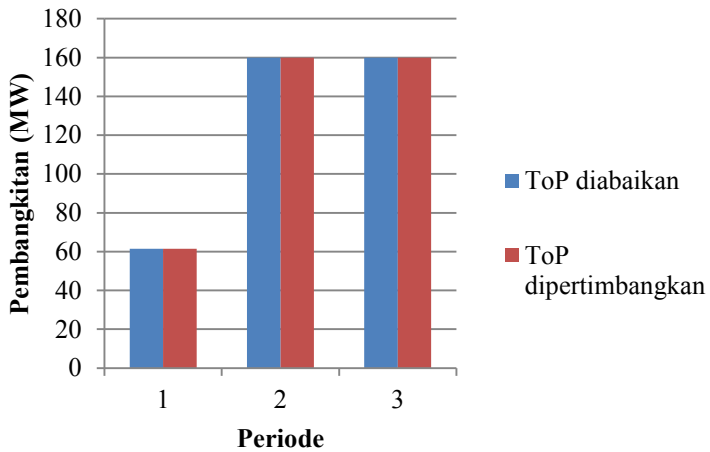
Gambar 4-18Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 2



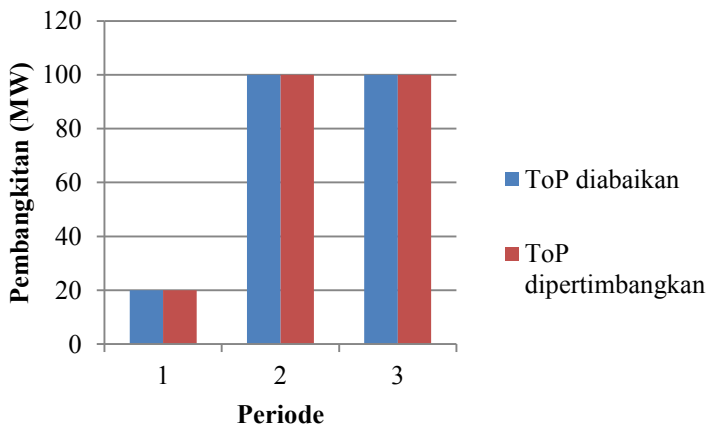
Gambar 4-19Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 3



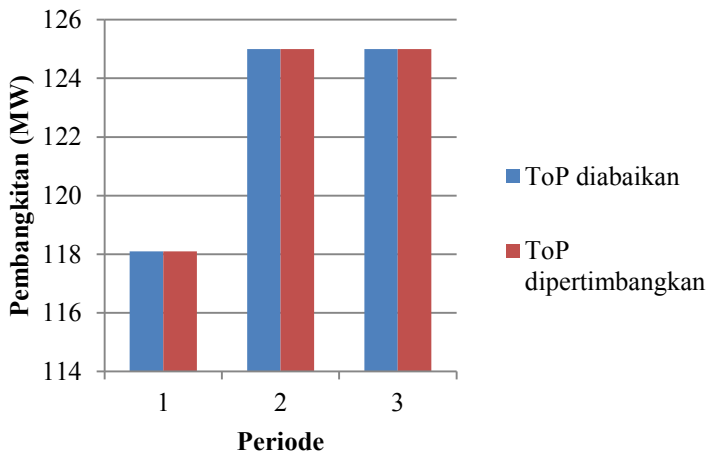
Gambar 4-20Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 4



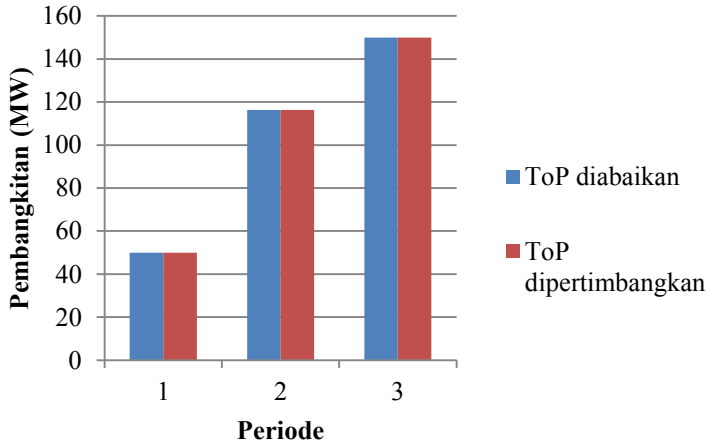
Gambar 4-21Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 5



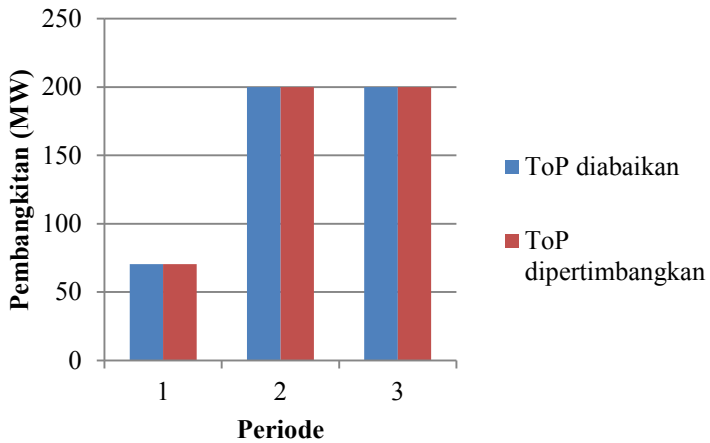
Gambar 4-22Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 6



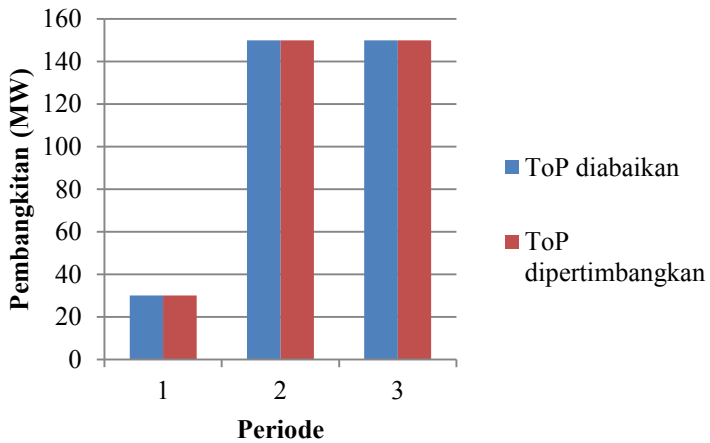
Gambar 4-23Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 7



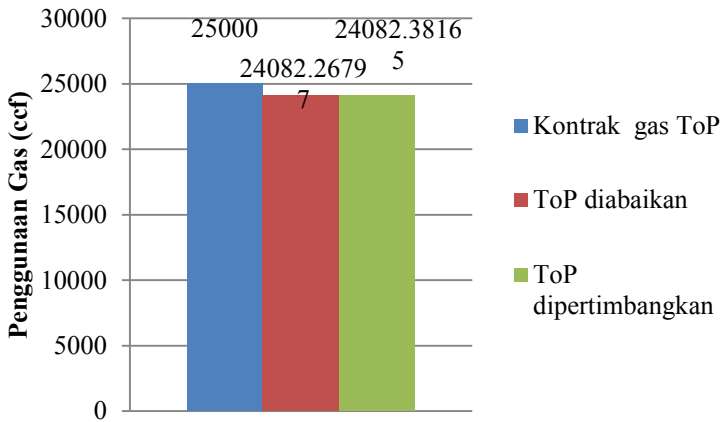
Gambar 4-24Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 8



Gambar 4-25Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 9



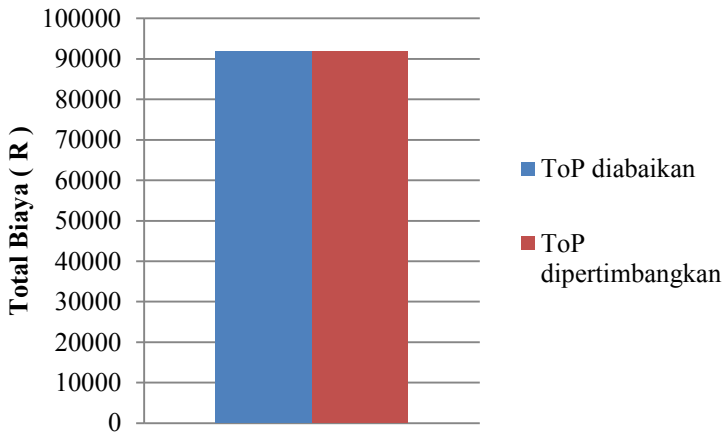
Gambar 4-26Perbandingan daya pembangkitan dari pembangkit unit 10



Gambar 4-27 Grafik perbandingan penggunaan gas

$$\text{Selisih penggunaan gas} = 24082,26 - 24082,38 = -0,12 \text{ ccf}$$

Pada gambar 4.27 dapat dilihat perbandingan penggunaan bahan bakar gas oleh pembangkit yang terkena batasan *Take-or-Pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* penggunaan gas hanya sebesar 24082,26 ccf. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh penggunaan bahan bakar gas sejumlah 24082,38ccf. selisih yang ada sangat kecil, hal ini disebabkan pada penggunaan gas pada hasil perhitungan dengan metode *lambda search* telah mendekati jumlah yang telah disepakati, sehingga dalam kasus ini, metode *gamma search* menunjukkan hasil yang sama dengan metode *lambda search*



Gambar 4-28 Grafik perbandingan Total Biaya

$$\text{Selisih Total Biaya} = 91807,887 - 91808,0493 = -0,16 \text{ R}$$

Pada gambar 4.28 dapat dilihat perbandingan Total biaya antara perhitungan yang mengabaikan batasan *Take-or-Pay contract* dengan yang mempertimbangkan *Take-or-pay contract*. Dengan menggunakan metode *lambda search* total biaya yang diperoleh adalah sebesar 91807,887R. Namun, apabila menggunakan metode *gamma search*, diperoleh total biaya sebesar 91808,0493R. apabila dibandingkan, perhitungan *gamma search* dengan *lambda search* tidak selisih jauh, hanya sebesar 0,16R. Hal ini disebabkan hasil perhitungan menggunakan metode *lambda search* telah memenuhi kesepakatan kontrak. sehingga dalam kasus ini, metode *gamma search* menunjukkan hasil yang sama dengan metode *lambda search*

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Program *economic dispatch* metode *gamma search* telah mampu untuk melakukan perhitungan pembebanan unit pembangkit pada sistem yang dikenai oleh batasan *Take-or-Pay contract* dan telah teruji pada uji validasi dengan menghasilkan total biaya sebesar 114938,51 \$ apabila memperhatikan batasan *take-or-pay*, lebih murah dibandingkan saat mengabaikan batasan *take-or-pay* yang menghasilkan total biaya 132127,87\$
2. Metode *gamma search* bekerja dengan cara meminimalkan jumlah bahan bakar yang tidak terpakai, pada uji validasi, saat batasan *take-or-pay* diperhitungkan, penggunaan bahan bakar yang mulanya 21840,74 ccf ditingkatkan menjadi 40000 ccf
3. Peningkatan penggunaan bahan bakar dilakukan dengan memprioritaskan pembebanan pada unit yang terkena batasan *take-or-pay contract*

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang operasi sistem tenaga berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Metode *gamma search* dapat dikembangkan agar dapat menghitung pembebanan pada permasalahan *economic dispatch* yang memiliki lebih dari satu jenis bahan bakar
2. Untuk pengembangan selanjutnya dapat menambahkan parameter *ramp-rate*, *spinning reserve* dan *transmission losses* agar lebih mendekati keadaan real

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

LAMPIRAN

**// Program untuk menghitung tanpa mempertimbangkan batasan
Take-or-pay**

```
procedure lambda_search_dispatch( schedmw:real; var lambda : real);
```

```
var  
i, n, lossiter : integer;  
lambdamin, lambdamax : real;  
lambdastart, deltalambda, targetgen : real;  
unitihr, unitmw, totalgen : real;  
endloop : boolean;
```

```
begin
```

```
for i := 1 to ngen do           { Set unit output to midrange}
```

```
begin
```

```
  p[ i ] := ( pmin[ i ] + pmax[ i ] ) / 2.0
```

```
end;
```

```
lossiter := 0;
```

```
endloop := false;
```

```
repeat                           {Top of iterative loop with losses}
```

```
lambdamin := 10000.0;
```

```
lambdamax := 0.0;
```

```
mwlosses := 0 ;
```

```
if losstype = lossform then { Calc losses and pen factors}
```

```
begin
```

```
  loss_matrix_ftn;
```

```
  writeln(ff);
```

```
  writeln(ff, ' mw losses = ',mwlosses:10:1);
```

```
end;
```

```
for i := 1 to ngen do           {Calculate max and min lambdas}
```

```
begin
```



```

    ihr_ftn (i,pmax[i],maxihr[i]);
lambda := maxihr[ i ] * penfac[ i ] * fuelcost[ i ];
if lambda > lambdamax then lambdamax := lambda;
    ihr_ftn (i,pmin[i],minihr[i]);
lambda := minihr[ i ] * penfac[ i ] * fuelcost[ i ];
if lambda < lambdamin then lambdamin := lambda
end;

writeln(ff,' lambda limits = ',lambdamin:10:4,lambdamax:10:4);

lambdastart := ( lambdamax + lambdamin ) / 2.0;
deltalambda := ( lambdamax - lambdamin ) / 2.0;

writeln(ff,' lambdastart deltalambda =
',lambdastart:10:4,deltalambda:10:4);
{Set up total generation target}
if schedtype = totgen then targetgen := schedmw;
if schedtype = totload then targetgen := schedmw + mwlosses;
{Lambda search}
lambda := lambdastart;
writeln(ff, ' targetgen = ',targetgen:10:1);

n := 0;
repeat                                {Top of lambda search loop}
n := n + 1;
totalgen := 0;
for i := 1 to ngen do
begin
unitihr := lambda / ( penfac[ i ] * fuelcost[ i ] ) ;
    inverse_ihr_ftn( i, unitihr, unitmw ); {For given unitihr get
unitmw}
p[ i ] := unitmw;
totalgen := totalgen + p[ i ]
end;

writeln(ff,' lambda = ',lambda:2:4,' totalgen = ',totalgen:10:3,' delta
lambda = ',deltalambda:1:4);

if abs( totalgen - targetgen ) >= total_gen_tolerance then

```

```

begin
if totalgen > targetgen then lambda := lambda - deltalambda;
if totalgen < targetgen then lambda := lambda + deltalambda;
deltalambda := deltalambda / 2.0
end;

until ( abs( totalgen - targetgen ) < total_gen_tolerance ) or
( n > 35 );

{See if another loss iteration is needed}

if losstype <> lossform then endloop := true;
lossiter := lossiter + 1;
if lossiter > 10 then endloop := true ;
if abs( totalgen - targetgen ) > total_gen_tolerance then
ProsesRun:=false;
    //else ProsesRun:=True;    //check if the program really get the
    right result

until endloop;

end; { End Lambda search procedure }

```

**//Program untuk menghitung dengan mempertimbangkan batasan
take-or-pay**

```

procedure gamma_search_dispatch(var gamma:real; lambda:real);
var
    i,k,m,j, n,njam,ng, lossiter, g : integer;
    cgamma,gammamin, gammamax : real;
    gammastart, deltagamma, targetqty : real;
    finalqty,unitiqty,unitqty, totalqty : real;
    endloop : boolean;
    cetak:string;
    //i, n, lossiter : integer;
    lambdamin, lambdamax : real;
    initlambdastart, initdeltalambda : real;
    lambdastart, deltalambda, targetgen : real;
    unitihr, unitmw, totalgen : real;

```

```

newfinalcost,newtotalcost,denomigamma,totdenomigamma :real;
//endloop : boolean;

begin

for i := 1 to ngen do           { Set unit output to midrange}
begin
p[ i ] := ( pmin[ i ] + pmax[ i ] ) / 2.0
end;

lambdamin := 10000.0;
lambdamax := 0.0;
gammamin := 10000.0;
gammamax := 0.0;

for i := 1 to ngen do         {Calculate max and min lambdas}
begin
lambda := maxih[ i ] * penfac[ i ] * fuelcost[ i ];
if lambda > lambdamax then lambdamax := lambda;
lambda := minih[ i ] * penfac[ i ] * fuelcost[ i ];
if lambda < lambdamin then lambdamin := lambda

end;

writeln(ff,' lambda limits = ',lambdamin:10:4,lambdamax:10:4);

lambdastart := ( lambdamax + lambdamin ) / 2.0;
initlambdastart :=lambdastart;
deltalambda := ( lambdamax - lambdamin ) / 2.0;
initdeltalambda:=deltalambda;

for i := 1 to ngen do         {Calculate max and min gammas}
begin
gamma := lambdastart /(((maxih[ i ] * penfac[ i ] ) / rating[i] ) );

```

```

if gamma > gammamax then gammamax := gamma;
gamma := lambdastart / ((minihr[ i ] * penfac[ i ]) / rating [i] );
if gamma < gammamin then gammamin := gamma;

end;

gammastart := ( gammamax + gammamin ) / 2.0;
deltagamma := ( gammamax - gammamin ) / 2.0;

writeln(ff, ' gamma limits = ',gammamin:10:4,gammamax:10:4);

writeln(ff, ' lambdastart deltalambda =
',lambdastart:10:4,deltalambda:10:4);
writeln(ff, ' gammastart deltagamma =
',gammastart:10:4,deltagamma:10:4);
{Set up total generation target}
ng:=0;
gamma:=gammastart;
repeat
// writeln(ff,ng);
ng:=ng+1;
finalcost:=0;
for i:=1 to numper do
begin
//datadump(loadjam[i], unitsebelum,Ff) ;
lamgam_search_dispatch(gamma,Loadjam[i], lambda);
lambda_period[i]:=lambda;
output_routine( loadjam[i], ff, lambda ) ;
//writeln(ff, ' lambda = ',lambda:10:4,'gamma=',gamma:10:4,' totalgen =
',totalgen:10:1);

total_period[i]:=totalcost ;
for k := 1 to ngen do
begin
prod_qty(k,p[k],qty_period[i,k]);
data_period[i,k]:=p[k];
end;

if ProsesRun = false then

```

```

begin
    showmessage('DED not possible between scheduled generation
number '+inttostr(i-1)+' and '+inttostr(i));
    break;
end;
end; {end dari number}
finalqty:=0;
for i:=1 to number do
begin
    for j:=1 to ngen do
begin
    Finalqty:=finalqty+qty_period[i,j]
end;
end;
if abs( finalqty - targetqty ) >= total_qty_tolerance then
begin
    targetqty:=schedqty;
    for k:=1 to number do
begin
    lambda:=lambda_period[k];
    for i:=1 to ngen do
begin
    denomi_delgam(i,lambda,gamma,denomigamma);
    totdenomigamma:=Totdenomigamma+denomigamma;
end;
end;
deltagamma:=(finalqty - targetqty)/totdenomigamma;
gamma :=gamma+deltagamma;
end;

until ( abs( finalqty - targetqty ) < total_qty_tolerance )
or (ng>7500);
// or
//      ( gamma<-0.001 ) ;

writeln(ff,'iterasi ke-',ng);
writeln(ff,'(fuel used) ',(finalqty):9:5);

```

```
writeln(ff,'error(fuel residu) ',(targetqty-finalqty):9:5,'
gamma',(gamma-deltagamma):1:5);
end;
```

//prosedur untuk menampilkan hasil perhitungan

```
procedure output_routine( schedmw:real; var outfile : text; lambda : real
);
```

```
var
    limittxt : string[5];
    totalgen, totalload : real;
    unitihr, unitinccost, unitcost : real;
    i : integer;
```

```
label return;
```

```
begin
{
writeln(outfile);
writeln(outfile,
    'generator output limit inc cost penalty fact operating cost');
writeln(outfile,
    '          mw          $/mwhr          $/hr          ');
writeln(outfile,
    '-----  -----  -----  -----  -----');
}
totalgen := 0.0;
totalcost := 0.0;
```

```
for i := 1 to ngen do
begin
// write(outfile,genname[i]:9);
// write(outfile,'p[i]:6:1, ' ');
limittxt := ' ';
if abs( p[i] - pmin[i] ) < total_gen_tolerance then limittxt := 'min ';
if abs( p[i] - pmax[i] ) < total_gen_tolerance then limittxt := 'max ';
// write(outfile, limittxt );

ihr_ftn( i, p[ i ], unitihr ); {Get unit incremental heat rate}
```

```

    unitinccost := unitihr * fuelcost[i];
//  write(outfile, unitinccost:9:4);
//  write(outfile, ' ',penfac[i]:9:4, ' ');

    prod_cost( i, p[ i ], unitcost );      {Calculate unit operating cost}

//  writeln(outfile, ' ',unitcost:9:2);
    totalgen := totalgen + p[i];
    totalcost := totalcost + unitcost;
    Finalcost := finalcost+totalcost;
    end;
{writeln(outfile,
    '-----'
    '-----');
write(outfile, ' totals');
write(outfile, totalgen:9:1,
    ' ', totalcost:9:2);
writeln(outfile);
writeln(outfile, ' lambda = ', lambda:10:4 );
writeln(outfile);
}
if (schedtype = totgen ) and ( losstype <> lossform ) then goto return;

if schedtype=totload then totalload := schedmw;

if schedtype=totgen then  totalload := totalgen - mwlosses;
{
writeln(outfile, 'total load = ',totalload:10:1,
    ' total losses = ',mwlosses:10:1);
}
return:

end; { End procedure }

```

//prosedur untuk menampilkan hasil perhitungan

```
PROCEDURE output_final( VAR OUTFILE : TEXT );

VAR I,J : INTEGER;

newtotalcost,newfinalcost,totalqty,finalqty,residufuel,endfinalcost,ToPc
ost:real;

BEGIN

    WRITELN(OUTFILE);

    WRITELN(OUTFILE,'FINAL OUTPUT DYNAMIC ECONOMIC
DISPATCH ');
    WRITELN(OUTFILE);
    WRITE(OUTFILE,'PERIOD    UNIT STATUS ');
    FOR I:=1 TO ngen*8-11 DO WRITE(OUTFILE,' ');
    WRITELN(OUTFILE,' PCOST    LOAD');
    WRITE(OUTFILE,'    ');
    FOR J := 1 TO ngen DO WRITE(OUTFILE,J:8);
    WRITELN(OUTFILE,'    R/HR    MW');
    FOR J := 1 TO 34+ngen*8 DO WRITE(OUTFILE,'-');
    WRITELN(OUTFILE);
    FOR i := 1 TO numper DO
    BEGIN
        WRITE(OUTFILE,i:4,' ');
        FOR J := 1 TO ngen DO
            WRITE(OUTFILE,' ',data_period[i,j]:6:1,' ');
        WRITELN(OUTFILE,' ',total_period[i]:9:2,' ',loadjam[i]:8:1);
        {OPTSTATE := PATH[ OPTSTATE ]; }
    END;

    newfinalcost:=0;
    newtotalLCOST:=0;
    for i:= 1 to numper do
        begin
            newtotalcost:=total_period[i];
```



```

newfinalcost:=newfinalcost+newtotalcost;
end;
  ToPcost:=schedqty*fuelpricefix;
  if topcost<>0 then
  begin
    writeln(outfile,'Take or Pay Contract Value ', ToPcost:9:4);
  end;
  endFinalcost:=newfinalcost+ToPcost;
  writeln(outfile,'Final Cost (tanpa ToP value)= ', newfinalcost:9:4);
  writeln(outfile,'Final Cost = ', endfinalcost:9:4);

END;

```

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robandi, Imam “*Modern Power System Control*”, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009
- [2] Naoto Yorino, Hafiz Mohd Habibuddin, Zoka Yoshifumi, Sasaki Yutaka, Ohnishi Yuji,”*Dynammic Economic Dispatch with Generator’s Feasible Operation Region*”, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific, 10.1109/APPEEC.2010.5448180,2010.
- [3] D. W. Ross, S.Kim, “*Dynammic Economic Dispatch of Generation*”, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99,no.6,pp.2060-2068,Nov.1980
- [4] Jizhong Zhu, “*Optimization of Power System Operation*”, IEEE press series on Power engineering, OPSO, John Willey & Sons Inc, America, 2009
- [5] Saadat, Hadi. “*Power System Analysis 2nd Edition*”, McGrawHill, Ch.1, 1999
- [6] Wood Allen J, Wollenberg Bruce F, (1996), “*Power Generation, Operational, and Control*”, Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc.
- [7] Wahyudi, Anas.,”*Aliran Daya Optimal Dinamis Mempertimbangkan Pembangkit dengan Skema Take or Pay (TOP)*“, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Juli 2014
- [8] R. Chabar, M. Pereira, S. Granville, L. Barroso, and N. Iliadis, “*Optimization of Fuel Contracts Management and Maintenance Scheduling for Thermal Plants under Price Uncertainty*,” Proc. of the Power Systems Conference and Exposition, Oct. 29-Nov 1, 2006.
- [9] Sakorn Panta, Suttichai Premrudeepreechacham,”*Economic Dispatch for Power Generation Using Artificial Neural Network*”, International Conference on Power Electronics,Korea, 2007.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

RIWAYAT HIDUP PENULIS



ADAM MUHAMMAD ZAMAN, lahir di Surabaya, Sabtu, 2 Oktober 1993. Penulis tamat dari bangku sekolah dasar di SDN Kalirungkut I SURABAYA 2005 dan melanjutkan di sekolah menengah pertama di SMPN I SURABAYA, lulus tahun 2008. Setelah lulus SMP, penulis melanjutkan sekolah ke SMAN 5 SURABAYA. Setelah lulus dari SMAN 5 SURABAYA pada tahun 2011, penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Teknik elektro dan mengambil konsentrasi

dalam Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Putra pertama dari dua bersaudara dari orang tua Bapak Dr. Mochamad Cholik dan Ibu Dra. Walmiati Wahyuningdyah ini aktif dalam berbagai kegiatan, diantaranya BEM FTI ITS, DPM FTI ITS. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : adam.m.zaman11@gmail.com

-Halaman ini sengaja dikosongkan-